

การพัฒนาสูตรอาหารฟังก์ชัน: เครื่องดื่มมะขามผงฟูและเยลลี่มะขาม

นางสาวพจนา แก้วทินกร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาเภสัชศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาอาหารเคมีและโภชนศาสตร์ทางการแพทย์ ภาควิชาอาหารและเภสัชเคมี

คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

FORMULATION OF FUNCTIONAL FOOD: TAMARIND EFFERVESCENT-POWDER
BEVERAGE AND TAMARIND JELLY

Miss Pojchana Kaewtinakorn

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Pharmacy Program in Food Chemistry and Medical Nutrition
Department of Food and Pharmaceutical Chemistry
Faculty of Pharmaceutical Sciences
Chulalongkorn University
Academic Year 2008
Copyright of Chulalongkorn University

พจนานาม แก้วทินกร : การพัฒนาสูตรอาหารฟังก์ชัน: เครื่องดื่มมะขามผงฟูและเยลลี่มะขาม.
(FORMULATION OF FUNCTIONAL FOOD: TAMARIND EFFERVESCENT-POWDER
BEVERAGE AND TAMARIND JELLY) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร.อรอนงค์
กังสดาลอำไพ, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : รศ.ธิติริรัตน์ ปานม่วง, 115 หน้า.

มะขามเป็นพืชที่มีฤทธิ์ช่วยระบาย การวิจัยนี้จึงนำมะขามมาพัฒนาเป็นอาหารฟังก์ชันสำหรับช่วย
ให้ระบายในรูปแบบผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มมะขามผงฟูและเยลลี่มะขาม โดยมีผงมะขามที่ได้จากการทำแห้งแบบ
พ่น (spray dry) เป็นส่วนประกอบสำคัญ เลือกใช้มะขามเปรี้ยวพันธุ์โคราชสกัดด้วยน้ำและทำให้เข้มข้น
ด้วยเครื่องระเหยแบบหมุนภายใต้ความดันต่ำ (rotary evaporator) ศึกษากระบวนการผลิตผงมะขามโดย
ใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นเมื่อผสมน้ำมะขามเข้มข้นกับมอลโตเด็คซ์ทรินในอัตราส่วนต่างๆ โดยใช้อัตราการ
ป้อนสารเข้าเครื่อง 3 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิลมเข้า 130 องศาเซลเซียส อุณหภูมิลมออก 90 องศา
เซลเซียส ความดัน 6 บาร์ พบว่าผงมะขามที่เติมมอลโตเด็คซ์ทรินร้อยละ 40 มีลักษณะที่ดีเหมาะสมต่อ
การนำมาพัฒนาสูตรเครื่องดื่มมะขามผงฟูและเยลลี่มะขาม

พัฒนาสูตรเครื่องดื่มมะขามผงฟูโดยปรับสัดส่วนต่างๆ ของสารก่อฟอง เลือกสูตรที่คุณสมบัติทาง
กายภาพดีที่สุด นำไปปรับปรุงความหวานโดยปรับสัดส่วนสารให้ความหวาน ได้แก่ น้ำตาลซูโครส น้ำตาล
ฟรุกโตส และสารให้ความหวานตราสวีชี คัดเลือก 5 สูตรซึ่งเป็นตัวแทนที่ดีของสูตรที่ใช้สารให้ความหวาน
แต่ละสัดส่วน ประเมินคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และความพึงพอใจโดยให้คะแนนการยอมรับ พบว่า
สูตรเครื่องดื่มมะขามผงฟูที่มีไซเดียมไบคาร์บอเนต 0.26 กรัม กรดซิตริก 0.20 กรัม และน้ำตาลซูโครส 4.00
กรัม ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุดและมีคุณสมบัติทางกายภาพดีที่สุด นำสูตรดังกล่าวมา
ศึกษาความคงตัวในด้านกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาเมื่อเก็บในรูปแบบแห้งที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ
2-8 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 วัน พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของค่าขึ้น ความเป็นกรดต่าง และปริมาณ
กรดทาร์ทาริก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

พัฒนาสูตรเยลลี่มะขามโดยปรับสัดส่วนผงมะขาม น้ำตาลซูโครสและเพกติน ประเมินการเกิดเจล
และคัดเลือกสูตรที่มีคุณสมบัติที่ดี เป็นสูตรต้นแบบในการปรับปรุงความหวาน โดยปรับ สัดส่วนของ
น้ำตาลซูโครสและน้ำตาลฟรุกโตส คัดเลือก 4 สูตรซึ่งเป็นตัวแทนที่ดีของสูตรที่ใช้สารให้ความหวานแต่ละ
สัดส่วน ประเมินคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และความพึงพอใจโดยให้คะแนนการยอมรับ พบว่าสูตรเยล
ลี่ที่มีผงมะขามร้อยละ 6 น้ำตาลซูโครสร้อยละ 40 และเพกตินร้อยละ 1 โดยน้ำหนักได้รับคะแนนชอบ
โดยรวมมากที่สุดและมีคุณสมบัติทางกายภาพดีที่สุด

ภาควิชา อาหารและโภชนาการ..... ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา อาหารเคมีและโภชนศาสตร์ทางการแพทย์..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ปีการศึกษา 2551..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

4976579633 : MAJOR FOOD CHEMISTRY AND MEDICAL NUTRITION

KEYWORDS : TAMARIND / EFFERVESCENT BEVERAGE / JELLY

POJCHANA KAEWTINAKORN : FORMULATION OF FUNCTIONAL FOOD:
TAMARIND EFFERVESCENT-POWDER BEVERAGE AND TAMARIND JELLY.
ADVISOR : ASSOC. PROF. ORANONG KANGSADALAMPAI, Ph.D., CO-
ADVISOR : ASSOC. PROF. THITIRAT PANMAUNG, M.SC., 115 pp.

Tamarind pulp is considered a mild laxative. This thesis developed functional foods in the formula of tamarind effervescent beverage and tamarind jelly from spray dried tamarind powder. Fruit pulps of *Tamarindus indica* L. cultivar sour type, "Priaio" from Nakhon Ratchasima were extracted with deionized water and were concentrated under reduced pressure in rotary evaporator. The tamarind concentrate was mixed with 10, 20, 30 and 40 % w/w maltodextrin and transformed into tamarind powder by spray-drying technique. The mixture was pumped into a atomizer at the rate of 3.0 ml/min. The temperature of inlet and outlet air were 130°C and 90°C, respectively and the pressure was 6 bars. For tamarind effervescent powder beverage, various combinations of sodium bicarbonate and citric acid were investigated. The best physical properties combination was chosen for further study of the replacement of sugar with following sweeteners, sucrose, fructose and swizsi®. Five formulas were chosen for the evaluation of the physical properties and the acceptances test. The formula that contained 0.26 g sodium bicarbonate, 0.20 g citric acid and 4.00 g sucrose was most acceptable and showed the best physical properties. The stability of the effervescent powder was studied for 30 days at room temperature and at 2-8 °C. It was found that moisture content, pH and tartaric content differed. For tamarind jelly, various combinations of tamarind powder, sucrose and pectin were investigated. The gel formation and physical properties were evaluated. The best physical properties combination was chosen for further study of the replacement of sugar with following sweeteners, sucrose and fructose. Four formulas were chose for the acceptances test. The formula that contains 6% tamarind powder, 40% sucrose and 1% pectin was most acceptable and showed the best physical properties.

Department : Food and Pharmaceutical Chemistry

Student's Signature :

Field of Study : Food Chemistry and Medical Nutrition

Advisor's Signature :

Academic Year : 2008

Co-Advisor's Signature :

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. อรอนงค์ กังสดาลอำไพ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ธิติรัตน์ ปานม่วง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ให้ความรู้และข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการวิจัยและตรวจแก้ไขข้อความต่างๆในการเขียนวิทยานิพนธ์นี้ให้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี และขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ลินนา ทองยงค์ ประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ วิมล ศรีสุข กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และคณาจารย์ภาควิชาอาหารเคมีทุกท่านสำหรับคำแนะนำและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ช่วยให้งานวิจัยผ่านไปได้อย่างดี

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เพ็ญพรรณ แน่นหนา ที่กรุณาให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ และให้ความกรุณาช่วยเหลือในด้านการตรวจวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยครั้งนี้ และขอขอบพระคุณหัวหน้าภาควิชาจุลชีววิทยา ที่กรุณาเอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องมือและอุปกรณ์บางอย่างในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. สุนันท์ พงษ์สามารถ ที่กรุณาให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ในด้านการพัฒนาสูตรอาหารฟังก์ชัน และขอขอบพระคุณหัวหน้าภาควิชาชีวเคมีที่กรุณาเอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องมือและอุปกรณ์บางอย่างในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ญศรี ทองนพเนื่อ รองศาสตราจารย์ ดร. วัลภา ทาทอง และนายวิโรจน์ ชัยพรโกสิน ที่กรุณาให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ และให้ความกรุณาช่วยเหลือในด้านการตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง

ขอขอบพระคุณหัวหน้าภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารและเจ้าหน้าที่ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาเอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องมือและอุปกรณ์บางอย่างในการทำวิจัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาอาหารเคมี และเจ้าหน้าที่ภาควิชาชีวเคมีทุกท่านที่อำนวยความสะดวกในการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดามารดาที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจตลอดมาและขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ และทุกคนที่ให้คำปรึกษา ช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจ จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่	
1. บทนำ	
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ในการวิจัย.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำวิจัย.....	3
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
ปัญหาและความสำคัญ.....	4
เครื่องมือมะขามผงฟู.....	8
องค์ประกอบของการตั้งตำรับฟองฟู.....	9
สารที่มีฤทธิ์เป็นกรด.....	9
แหล่งของคาร์บอนไดออกไซด์.....	10
สารช่วยอื่นๆ ในตำรับ.....	11
เยลลี่.....	11
เพกติน.....	12
น้ำตาล.....	13
การเกิดเจลในเพกตินชนิดเมทอกซีสูง.....	13
ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลและความแข็งแรงของเจลเพกตินชนิดเมทอกซีสูง..	14
3. วิธีดำเนินการวิจัย	
สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย.....	16
อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	16

	หน้า
รูปแบบการวิจัย.....	18
ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย	
พันธุ์มะขามที่ใช้ในการวิจัย.....	18
การเตรียมน้ำมะขามเข้มข้นเพื่อนำไปทำแห้งแบบพ่น.....	18
การผลิตผงมะขามโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่น.....	20
การพัฒนาเครื่องตีมะขามผงฟูจากผงมะขามที่ได้จากการพ่นแห้ง.....	23
การพัฒนาเยลลี่จากผงมะขามที่ได้จากการพ่นแห้ง.....	28
การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	32
4. ผลการวิจัย.....	33
5. อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ.....	64
6. สรุปผลการวิจัย.....	74
รายการอ้างอิง.....	75
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก แบบประเมินผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสเครื่องตีมะขามผงฟู.....	83
ภาคผนวก ข ผลการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของเครื่องตีมะขามผงฟู.....	86
ภาคผนวก ค แบบประเมินผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสเยลลี่มะขาม.....	92
ภาคผนวก ง ผลการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของเยลลี่มะขาม.....	95
ภาคผนวก จ วิธีการวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา.....	101
ภาคผนวก ฉ การวิเคราะห์กรดทาร์ทาริกในผลิตภัณฑ์มะขามด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง (High performance liquid chromatography: HPLC).....	108
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	115

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อมะขามน้ำหนัก 100 กรัม.....	6
2	ส่วนประกอบของเครื่องตีมะขามผงฟูที่ปรับสัดส่วนของสารก่อฟองฟู.....	23
3	คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีและของน้ำมะขามเข้มข้น.....	34
4	คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของผงมะขามที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่น.....	35
5	ปริมาณความชื้น ความเป็นกรดต่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและ ปริมาณกรดทาร์ทริกของผงมะขามที่ผสมมอลโตเด็กซ์ทรินร้อยละ 40.....	36
6	ลักษณะทางกายภาพและเคมีของผงมะขาม เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ณ วันเริ่มต้น 7 15 และ 30 วัน.....	37
7	ลักษณะทางกายภาพและเคมีของผงมะขาม เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียส ณ วันเริ่มต้น 7 15 และ 30 วัน.....	38
8	ผลการวิเคราะห์ด้านจุลชีววิทยาของผงมะขาม เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ที่ระยะเวลาต่างๆ.....	39
9	ผลการวิเคราะห์ด้านจุลชีววิทยาของผงมะขาม เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียสที่ระยะเวลาต่างๆ.....	39
10	รสชาติ ลักษณะฟอง ปริมาณฟอง และระยะเวลาในการยุบตัวของฟองของ เครื่องตีมะขามผงฟูสูตรที่ 1-4.....	40
11	รสชาติ ลักษณะฟอง ปริมาณฟอง และระยะเวลาในการยุบตัวของฟองของ เครื่องตีมะขามผงฟูสูตรที่ 5-13.....	42
12	สี ค่าสีของผงเครื่องตีและเครื่องตีมะขามผงฟูเมื่อละลายน้ำ ลักษณะ ผงเครื่องตีและกลิ่นของเครื่องตีมะขามผงฟู.....	45
13	ความเป็นกรด-ต่าง ปริมาณความชื้น และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ของเครื่องตีมะขามผงฟู.....	46
14	ร้อยละของปริมาณของแข็งที่ไม่ละลาย (% insoluble solid) และ เวลาใน การละลายของ เครื่องตีมะขามผงฟู.....	46
15	คะแนนเฉลี่ยความชอบในด้านต่างๆ ที่ผู้ชิมให้แก่เครื่องตีมะขามผงฟู.....	48

ตารางที่	หน้า	
16	ลักษณะทางกายภาพและเคมีของเครื่องตีม่ะขามผงฟูสูตรที่ 2 เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ณ วันเริ่มต้น 7 15 และ 30 วัน.....	50
17	ลักษณะทางกายภาพและเคมีของเครื่องตีม่ะขามผงฟูสูตรที่ 2 เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียส ณ วันเริ่มต้น 7 15 และ 30 วัน.....	51
18	ผลการวิเคราะห์ด้านจุลชีววิทยาของเครื่องตีม่ะขามผงฟู เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ที่ระยะเวลาต่างๆ.....	52
19	ผลการวิเคราะห์ด้านจุลชีววิทยาของเครื่องตีม่ะขามผงฟู เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาต่างๆ.....	52
20	ผลการเกิดเจลของเยลลี่.....	54
21	ลักษณะที่ปรากฏ การไหวตัว ความคงตัวและรอยตัด ของสูตรเยลลี่ที่เกิดเจล..	56
22	ความเป็นกรดต่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และความแข็งของสูตรเยลลี่ที่เกิดเจล.....	56
23	ผลการเกิดเจลของเยลลี่ที่ปรับปรุงความหวานโดยใช้น้ำตาลชนิดต่างๆ.....	57
24	ลักษณะที่ปรากฏ การไหวตัว ความคงตัว และรอยตัดของสูตรเยลลี่ที่ปรับปรุงความหวานโดยใช้น้ำตาลชนิดต่างๆ แล้วเกิดเจล.....	58
25	ความเป็นกรดต่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และความแข็งจากการวัดเยลลี่ที่ปรับปรุงความหวานโดยใช้น้ำตาลชนิดต่างๆ แล้วเกิดเจล.....	58
26	รสชาติ กลิ่น และสีโดยใช้เครื่องวัดสี Minolta Chromameter ของเยลลี่ 4 สูตร ที่เป็นตัวแทนเยลลี่ที่เตรียมจากน้ำตาลชนิดต่างๆ.....	60
27	ปริมาณกรดทาร์ทาริกในเยลลี่ม่ะขาม.....	61
28	คะแนนเฉลี่ยความชอบในด้านต่างๆที่ผู้ชิมให้แก่เยลลี่.....	63
ข-1	ความถี่ของคะแนนความชอบในสีและลักษณะที่ปรากฏให้เห็นภายนอกของผงเครื่องตีม่ะขามที่ผู้ชิมให้แก่เครื่องตีม่ะขามผงฟู.....	86
ข-2	ความถี่ของคะแนนความชอบในสีและลักษณะที่ปรากฏให้เห็นภายนอกของผงเครื่องตีม่ะขามเมื่อละลายน้ำ ที่ผู้ชิมให้แก่เครื่องตีม่ะขามผงฟู.....	86
ข-3	ความถี่ของคะแนนความชอบในกลิ่นที่ผู้ชิมให้แก่เครื่องตีม่ะขามผงฟู.....	87

ตารางที่	หน้า
ข-4	ความถี่ของคะแนนความชอบในรสชาติที่ผู้ชิมให้แก่เครื่องต้มมะขามผงฟู..... 87
ข-5	ความถี่ของคะแนนความชอบในลักษณะการเกิดฟองที่ผู้ชิมให้แก่เครื่องต้มมะขามผงฟู..... 88
ข-6	ความถี่ของคะแนนความชอบในความชอบโดยรวมที่ผู้ชิมให้แก่เครื่องต้มมะขามผงฟู..... 88
ข-7	การวิเคราะห์การแจกแจงของคะแนนความชอบในด้านต่างๆที่ผู้ชิมให้แก่เครื่องต้มมะขามผงฟู..... 89
ง-1	ความถี่ของคะแนนความชอบในสีและลักษณะที่ปรากฏให้เห็นภายนอกที่ผู้ชิมให้แก่เยลลี่..... 95
ง-2	ความถี่ของคะแนนความชอบในกลิ่นที่ผู้ชิมให้แก่เยลลี่..... 95
ง-3	ความถี่ของคะแนนความชอบในรสชาติที่ผู้ชิมให้แก่เยลลี่..... 96
ง-4	ความถี่ของคะแนนความชอบในเนื้อสัมผัสขณะรับประทานที่ผู้ชิมให้แก่เยลลี่.. 96
ง-5	ความถี่ของคะแนนความชอบในรอยตัดด้วยช้อนที่ผู้ชิมให้แก่เยลลี่..... 97
ง-6	ความถี่ของคะแนนความชอบในความชอบโดยรวมที่ผู้ชิมให้แก่เยลลี่..... 97
ง-7	การวิเคราะห์การแจกแจงของคะแนนความชอบในด้านต่างๆที่ผู้ชิมให้แก่เยลลี่.. 98
จ-1	ตารางแปรผลปริมาณแบบคิที่เรียโคลิฟอร์มวัดโดยวิธีเอ็มพีเอ็นโดยการเจือจาง 5 หลอด เมื่อเพาะตัวอย่าง 0.1, 0.01 และ 0.001 กรัม ในอาหารเลี้ยงเชื้อ..... 107
ฉ-1	ความเข้มข้นของกรดทาร์ทาริกมาตรฐานและ กรดแกลลิกในการเตรียมสารละลายผสมกรดทาร์ทาริกมาตรฐาน 3 ความเข้มข้น 110
ฉ-2	ความถูกต้องและเที่ยงตรงของวิธีวิเคราะห์ภายในวันเดียวกันในการวิเคราะห์กรดทาร์ทาริก แสดงผลในรูป %recovery และ %RSD ของ intraday 110
ฉ-3	ความเที่ยงตรงเมื่อวิเคราะห์ต่างวันกันของสารละลายผสมของกรดอินทรีย์มาตรฐาน (inter-day precision) แสดงผลในรูป %RSD 111
ฉ-4	ความเข้มข้นของกรดทาร์ทาริกมาตรฐานและ กรดแกลลิกในการเตรียมสารละลายผสมกรดทาร์ทาริกมาตรฐาน 5 ความเข้มข้น 113
ฉ-5	ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างอัตราส่วนพื้นที่ใต้ยอดแหลมของกราฟของกรดทาร์ทาริกมาตรฐานกับกรดแกลลิกต่อความเข้มข้นของกรดทาร์ทาริกมาตรฐาน..... 114

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แผนภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมเครื่องตีมะขามผงฟู.....	24
2	แผนภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมเยลลี่มะขาม.....	29
3	มะขามเปรี้ยวยักษ์พันธุ์โคราซที่ใช้ในการทดลอง.....	33
4	กราฟแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างอัตราส่วนพื้นที่ได้ยอดแหลมของ กราฟของกรดทาร์ทริกมาตรฐานกับกรดแกลลิกต่อความเข้มข้นของ กรดทาร์ทริกมาตรฐาน.....	114

บทที่ 1

บทนำ

ปัญหาสุขภาพของมนุษย์เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีหลายโรคที่มีสาเหตุมาจากการบริโภคอาหารที่ไม่ถูกสุขลักษณะ ได้รับสารอาหารไม่ถูกสัดส่วน ทำให้เกิดโรคแบบเฉียบพลันและโรคเรื้อรังต่างๆ ปัจจุบันผู้บริโภคหันมารับประทานอาหารที่มาจากธรรมชาติ จากพืชผักสมุนไพรต่างๆ เพิ่มขึ้น อาหารฟังก์ชัน (functional food) จึงได้รับความสนใจมากขึ้น นอกจากจะให้คุณค่าทางโภชนาการแล้ว ยังมีประโยชน์หรือคุณสมบัติอื่นๆ ต่อสุขภาพ ช่วยป้องกันหรือลดอันตรายต่อการเกิดโรคต่างๆ (ปิ่นมณี ขวัญเมือง, 2548; อรอนงค์ กังสดาลอำไพ, 2542) ตัวอย่างอาหารฟังก์ชัน ได้แก่ พืชผักผลไม้ ธัญพืช เป็นต้น สอดคล้องกับวัฒนธรรมการรับประทานอาหารของคนไทย เน้นอาหารที่มีพืชผักเป็นส่วนประกอบ ส่วนใหญ่เป็นพืชสมุนไพรที่เป็นพืชพื้นบ้าน พืชสวนครัว เช่น กระเทียม กระเพรา มะนาว กลัวยี่น้ำว่า และมะขาม เป็นต้น (เพียรวิทย์ เหมือนนวงษ์ญาติ, 2534; ภูมิพิชญ์ สุขาวรรณ, 2535; มาโนช วามานนท์ และเพ็ญญา ททรัพย์เจริญ, 2538; วิทย์ เทียงบุญธรรม, 2531; Farnsworth และ Bunyapraphatsara, 1992)

มะขามเปียกถูกนำมาใช้ในการรักษาตามตำรายาไทยหลายอย่าง เช่น ใช้แก้อาการท้องผูก โดยนำเนื้อฝักแก่หรือมะขามเปียก 10–20 ฝัก (หนักประมาณ 70–150 กรัม) จิ้มกับเกลือรับประทาน หรือคั้นน้ำแล้วใส่เกลือต้ม และใช้แก้ไอขับเสมหะโดยนำเนื้อในฝักแก่หรือมะขามเปียกจิ้มเกลือรับประทาน นอกจากนี้มีการนำมาใช้ทำเป็นครีมล้างหน้า ชัดหน้า หรือสบู่มะขาม (ชูศักดิ์ สัจจพงษ์, 2550; Farnsworth และ Bunyapraphatsara, 1992)

กรดทาร์ทาริกเป็นสารประกอบสำคัญที่พบในเนื้อมะขามเปียก สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น ใช้เป็นสารให้กรด(acidulant) ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ผลิตภัณฑ์ขนมและเครื่องดื่ม ใช้เป็นองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ฟองฟู และใช้เป็นยาระบาย การรับประทานกรดทาร์ทาริก 0-30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน ไม่ก่อให้เกิดอันตราย และปริมาณกรดทาร์ทาริก 10-20 กรัม สามารถใช้เป็นยาระบาย (Shri และคณะ, 1976; World Health Organization, 1974)

มะขามเป็นผลิตภัณฑ์ธรรมชาติที่สามารถแปรรูปมาใช้ในการป้องกัน รักษาโรค หรือส่งเสริมสุขภาพ ซึ่งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งเพื่อทดแทนตัวยาสารเคมีที่ใช้ในปัจจุบันได้ อย่างไรก็ตามการใช้มะขามเพื่อช่วยระบาย ยังไม่นิยมอย่างแพร่หลายเหมือนการใช้น้ำลูกพรุนที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไป อาจเนื่องจากความไม่สะดวกในการรับประทานและผลผลิตมะขามมีเฉพาะฤดูกาล รวมทั้งการเก็บมะขามเปียกไว้นานๆ จะทำให้สีของมะขามเปียกเปลี่ยนจากสีน้ำตาลแดง

เป็นสีน้ำตาลเข้มจนกระทั่งเป็นสีดำ ไม่น่ารับประทาน มีปัญหาบวมนจากแมลงและเชื้อรา ฉะนั้นการเก็บในรูปมะขามเปียกจึงค่อนข้างยุ่งยาก การแปรรูปมะขามเปียกเป็นมะขามผงจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่จะสามารถแก้ปัญหาดังกล่าว (แสนพล ถิ่นมธุรส, 2532; สุภัญญา ธนพัฒนานุกูล, พันทิพา ศิริธเนศ และสุชาดา ม่วงไหม, 2544) โดยกระบวนการผลิตมะขามผงสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การทำแห้งแบบใช้อากาศร้อน (air drying) การทำแห้งแบบลูกกลิ้งหมุน (drum drying) การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) และการทำแห้งแบบพ่น (spray drying) เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นจะอยู่สภาพผงแห้ง คุณสมบัติและคุณภาพของผลิตภัณฑ์สามารถควบคุมและปรับเปลี่ยนได้ เช่น ปริมาณความชื้น รูปร่างและขนาดของอนุภาค เป็นต้น สามารถทำแห้งได้ทันทีและต่อเนื่อง ใช้เวลาน้อย เครื่องมือไม่ซับซ้อน ใช้แรงงานต่ำ (วีระวิทย์ ปองเปี่ยม, 2547; Bender, 1978; Fellows, 1990; Jongen, 2002)

การแปรรูปมะขามเปียกเป็นมะขามผง เป็นการผลิตวัตถุดิบทุติยภูมิ (secondary raw material) สามารถใช้เป็นผลิตภัณฑ์พร้อมใช้ สะดวกต่อการนำไปใช้เป็นส่วนผสมในอาหารต่างๆ เช่น เครื่องปรุงรสในอาหารทั้งคาวและหวาน ทำน้ำมะขามผงพร้อมดื่ม หรือใช้พัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์มะขามในรูปแบบอื่นๆ ได้ อีกทั้งยังช่วยยืดอายุการเก็บรักษา สามารถเก็บไว้ได้นานโดยไม่ต้องเก็บในที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งช่วยประหยัดพลังงานได้ สามารถเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตรภายในประเทศหรือพัฒนาเพื่อการส่งออก การศึกษากระบวนการผลิตมะขามผงและการพัฒนาผลิตภัณฑ์มะขามจึงมีความสำคัญและจำเป็น เพื่อนำไปสู่ผลิตภัณฑ์ที่ดีมีคุณภาพมาตรฐานเชื่อถือได้ แต่ปัจจุบันการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากมะขามยังเป็นอุตสาหกรรมชุมชนขนาดเล็กหรือในครัวเรือนที่ไม่มีมาตรฐานชัดเจน ส่วนใหญ่จะพบผลิตภัณฑ์มะขามในรูปแบบของขนมขบเคี้ยวหรือเครื่องดื่ม เพื่อใช้บริโภคทั่วไป แต่ยังไม่พบรายงานวิจัยที่เกี่ยวกับกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์มะขามเพื่อใช้ในรูปอาหารฟังก์ชันโดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องดื่มมะขามผงฟูและเยลลี่มะขาม

งานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายที่จะศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผงมะขามด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นและนำผงมะขามมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มมะขามผงฟูและเยลลี่มะขามเพื่อใช้เป็นอาหารฟังก์ชัน ป้องกัน รักษาโรค หรือส่งเสริมสุขภาพต่อไป

วัตถุประสงค์ในการวิจัย

1. พัฒนาเทคนิคการผลิตผงมะขาม โดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่น
2. ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาของผงมะขามที่เตรียมได้
3. พัฒนาเครื่องดื่มมะขามผงฟูและเยลลี่มะขามเพื่อใช้เป็นอาหารฟังก์ชัน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำวิจัย

1. ได้เทคนิคและวิธีการเตรียมผงมะขาม โดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่น
2. ได้เครื่องตีมะขามผงฟูและเยลลี่มะขามเพื่อใช้เป็นอาหารฟังก์ชัน

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัญหาและความสำคัญ

อาหารฟังก์ชันคืออาหารที่ให้คุณค่าทางโภชนาการและมีประโยชน์หรือคุณสมบัติอื่นๆ ต่อสุขภาพ ช่วยป้องกันหรือลดอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคต่างๆ อาหารที่จัดเป็นอาหารฟังก์ชันจะต้องมีสารออกฤทธิ์ (active ingredient) เป็นส่วนประกอบ ซึ่งอาจมีอยู่ในอาหารตามธรรมชาติ หรือนำมาเสริมลงในผลิตภัณฑ์ ส่วนใหญ่จะเป็นสารประกอบจากพืชผักผลไม้ เช่น โยเกิร์ต กล้วยพืช พรูไบโอติกส์ เปปไทด์ และบางชนิดเป็นสารที่ได้จากสัตว์หรือจุลินทรีย์ เช่น โพรไบโอติกส์ เป็นต้น (ปิ่นมณี ขวัญเมือง, 2548; อรอนงค์ กังสดาลอำไพ, 2542) วัฒนธรรมการรับประทานอาหารของคนไทยเน้นอาหารที่มีพืชผักเป็นส่วนประกอบ ส่วนใหญ่เป็นพืชสมุนไพรที่เป็นพืชพื้นบ้าน พืชสวนครัว ซึ่งนอกจากจะมีประโยชน์ทางโภชนาการแล้ว ยังเป็นอาหารฟังก์ชันช่วยป้องกัน บรรเทา หรือรักษาอาการของโรคต่างๆ ได้หลายอย่าง เช่น กระเทียมช่วยลดคอเลสเตอรอลในเลือด กระเพราช่วยขับลม มะนาวช่วยขับเสมหะแก้ไอ กระเจี๊ยบช่วยขับปัสสาวะ กลัวย่น้ำว่าช่วยป้องกันการเกิดแผลในกระเพาะอาหาร และมะขามช่วยระบาย เป็นต้น (พเยาว์ เหมือนวงษ์ญาติ, 2534; ภูมิพิชญ์ สุชาวรรณ, 2535; มาโนช วามานนท์ และเพ็ญญา ททรัพย์เจริญ, 2538; วิทย์ เทียงบุญธรรม, 2531; Farnsworth และ Bunyapraphatsara, 1992)

ตามตำรายาไทยมีการใช้มะขามเปียกในการรักษาอาการต่างๆ เช่น ใช้แก้อาการท้องผูก แก้ไอขับเสมหะ โดยรับประทานเนื้อมะขามเปียก 10-20 ฝัก (หนักประมาณ 70-150 กรัม) และมีการใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง เช่น ครีมล้างหน้า ชัดหน้า และสบู่มะขาม (ชูศักดิ์ สัจจพงษ์, 2550; Farnsworth และ Bunyapraphatsara, 1992)

มะขาม (*Tamarindus indica* Linn.) วงศ์ Leguminosae เป็นไม้ยืนต้นตระกูลถั่วขนาดใหญ่ กิ่งเขียวตลอดปี แตกกิ่งก้านสาขา ไม่มีหนาม เปลือกต้นขรุขระและหนา สีน้ำตาลอ่อน ใบเป็นใบประกอบแบบขนนก (pinnately compound leaves) ดอกมีขนาดเล็ก กลีบดอกสีเหลือง และมีจุดประสีม่วงแดงอยู่กลางดอก ผลเป็นฝักยาว รูปร่างโค้งยาว 3-20 เซนติเมตร ฝักอ่อนมีเปลือกสีเขียวอมเทา สีน้ำตาลแก่เมื่อแก่ฝักเปลี่ยนเป็นเปลือกแข็งกรอบ หักง่าย สีน้ำตาล เนื้อมะขามมีรสเปรี้ยวและหวาน ซึ่งฝักจะมีเมล็ด 3-12 เมล็ด เมล็ดแก่จะแบนเป็นมัน และมีสีน้ำตาล เนื้อในฝักมะขามประกอบด้วย เนื้อมะขาม (pulp) ร้อยละ 55 รก (fiber)

ร้อยละ 12 และเมล็ด (seed) ร้อยละ 33 มะขามมีประโยชน์มากมายเกือบทุกส่วน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเนื้อมะขามสุก หรือที่เรียกว่ามะขามเปียก (ชูศักดิ์ สัจจพงษ์, 2550)

ในแง่คุณค่าทางโภชนาการเนื้อมะขามสุกประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตเป็นหลัก มีโปรตีนใยอาหาร ไขมันปริมาณน้อย และเป็นแหล่งของวิตามินและแร่ธาตุที่สำคัญ ดังตารางที่ 1 (Shri และคณะ, 1976) ได้แก่ แคโรทีน (carotene) วิตามินบี 2 (riboflavin) แคลเซียม (calcium) และฟอสฟอรัส (phosphorus) เป็นต้น องค์ประกอบที่สำคัญของเนื้อมะขามมีดังนี้ (Shri และคณะ, 1976)

1. เพกติน (Pectin) 2-3.5 % ซึ่งเป็นโพลีเมอร์ของน้ำตาลกาแลคทูโลนิก (galacturonic acid) 81.3 %, กาแลคโตส (galactose) 2.0 % และอะแรบิโนส (arabinose) 6.8 % เพกตินเป็นตัวช่วยเพิ่มความเหนียวนุ่ม ให้กับเนื้อมะขาม

2. เซลลูโลส (Cellulose) 19.4 %

3. น้ำตาลอินเวอร์ท (Invert sugar) 30 – 40 %

4. กรดผลไม้ (Alphahydroxy acid – AHA) ได้แก่ กรดมาลิก (malic acid) กรดซิตริก (citric acid) กรดแลคติก (lactic acid) กรดซัคซินิก (succinic acid) และกรดทาร์ทาริก (tartaric acid) กรดทาร์ทาริกเป็นกรดผลไม้ที่สำคัญในมะขาม ซึ่งมีอยู่ในปริมาณร้อยละ 8-18 ของเนื้อมะขาม

ตารางที่ 1 คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อมะขามน้ำหนัก 100 กรัม (Shri และคณะ, 1976)

สารอาหาร	ปริมาณ (กรัม)
ความชื้น	20.9
คาร์โบไฮเดรต	67.4
โปรตีน	3.1
ไขมัน	0.1
ใยอาหาร	5.6
แร่ธาตุ	2.9
พลังงาน	283.0 กิโลแคลอรี
วิตามิน	ปริมาณ (มิลลิกรัม)
แคโรทีน	60.0
ไรโบฟลาวิน	0.07
ไนอะซิน	0.70
วิตามินซี	3.00
แร่ธาตุ	ปริมาณ (มิลลิกรัม)
แคลเซียม	170.0
ฟอสฟอรัส	110.0
แมกนีเซียม	41.00
เหล็ก	17.0
แมงกานีส	0.55
ทองแดง	0.20
โครเมียม	0.056

กรดทาร์ทาริก (2,3-dihydroxybutanedioic acid) เป็นผลึกสีขาว ไม่มีกลิ่น มีรสเปรี้ยว ละลายน้ำได้ดี ในธรรมชาติจะอยู่ในรูปแอล-ทาร์ทาริก (L- tartaric acid) ส่วนใหญ่อยู่ในรูปเกลือโพแทสเซียมทาร์เตรต (potassium tartrate) และ แคลเซียมทาร์เตรต (calcium tartrate) เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูกดูดซึมและขับออกทางปัสสาวะเพียงร้อยละ 20 ส่วนที่เหลือจะถูกทำลายโดยแบคทีเรียในลำไส้และถูกขับออกทางอุจจาระ การศึกษาถึงพิษแบบเฉียบพลัน พิษในระยะสั้น

และพิษในระยะยาว ในหนู สุ่นัข แมง และกระต่าย ไม่พบพิษที่เป็นอันตรายร้ายแรง กรดทาร์ทาริก ได้ถูกนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ใช้เป็นสารให้กรด (acidulant) ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ผลิตภัณฑ์ขนม และเครื่องดื่ม ใช้เป็นองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ฟองฟู และใช้เป็นยาระบาย การรับประทานกรดทาร์ทาริก 0-30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน ไม่ก่อให้เกิดอันตราย และปริมาณ กรดทาร์ทาริก 10-20 กรัม สามารถใช้เป็นยาระบาย (Shri และคณะ, 1976; World Health Organization, 1974)

ปัจจุบันมีการศึกษาประโยชน์ของกรดทาร์ทาริกและเนือมะขามต่อสุขภาพ เช่น การใช้ กรดทาร์ทาริก 2.4 กรัม ในรูปของครีมออฟทาร์ทา (cream of tartar) ทดสอบการทำงานของลำไส้ โดยให้อาสาสมัครสุขภาพดี 13 คน รับประทานติดต่อกันเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าช่วยลด ระยะเวลาในการเคลื่อนตัวของอาหารผ่านลำไส้และทำให้อุจจาระอ่อนนุ่มขับถ่ายสะดวกเมื่อเทียบกับ การรับประทานอาหารทั่วไป (Spiller และคณะ, 2003) เด็กที่มีภาวะ dental fluorosis เมื่อรับประทานมะขามพบว่าช่วยเพิ่มการขับฟลูออไรด์ออกทางปัสสาวะ (Khandare และคณะ, 2004) น้ำมะขามและกรดทาร์ทาริกช่วยลดจำนวนและขนาดของนิ่วได้ทั้งการทดลอง นอกกาย (in vitro) และในสิ่งมีชีวิต (in vivo) (Anasuya และคณะ, 1989, 1990; Joseph, Parekh and Jochi, 2005) นอกจากนี้สารสกัดจากเนือมะขามช่วยลดระดับน้ำตาลคอเลสเตอรอล และไตรกลี เซอไรด์ในเลือดของหนูที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีคอเลสเตอรอลสูง (Martinello และคณะ, 2006)

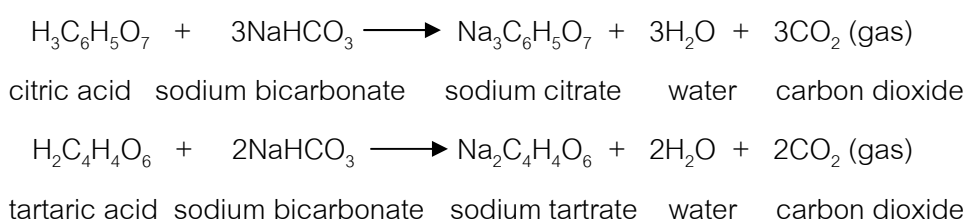
การแปรรูปมะขามเป็นอาหารฟังก์ชัน เพื่อนำมาใช้ในการป้องกัน รักษาโรค หรือส่งเสริม สุขภาพ จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งเพื่อทดแทนตัวยาสารเคมีที่ใช้ในปัจจุบันได้ อย่างไรก็ตามการใช้ มะขามเพื่อช่วยระบาย ยังไม่นิยมอย่างแพร่หลายเหมือนการใช้น้ำลูกพรุนที่มีจำหน่ายตาม ท้องตลาดทั่วไป เนื่องจากความไม่สะดวกในการรับประทานและผลผลิตมะขามมีเฉพาะฤดูกาล รวมทั้งการเก็บมะขามเปียกไว้นานจะทำให้สีของมะขามเปียกเปลี่ยนจากสีน้ำตาลแดงเป็นสี น้ำตาลเข้มจนกระทั่งเป็นสีดำ ไม่น่ารับประทาน มีปัญหาการปนเปื้อนจากแมลงและเชื้อรา ฉะนั้น การเก็บในรูปมะขามเปียกจึงค่อนข้างยุ่งยาก การแปรรูปมะขามเปียกเป็นมะขามผงสามารถ แก้ปัญหาดังกล่าว (แสนพล ถิ่นมธุรส, 2532; สุกัญญา ธนพัฒนากุล และคณะ ,2544) โดยกระบวนการผลิตมะขามผงสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การทำแห้งแบบใช้อากาศร้อน (air drying) การทำแห้งแบบลูกกลิ้งหมุน (drum drying) การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) และการทำแห้งแบบพ่นกระจาย (spray drying) เป็นต้น ซึ่งการทำแห้งแบบพ่นกระจาย ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะอยู่ในสภาพผงแห้ง คุณสมบัติและคุณภาพของผลิตภัณฑ์สามารถควบคุมและ ปรับเปลี่ยนได้ เช่น ปริมาณความชื้น รูปร่างและขนาดของอนุภาค เป็นต้น สามารถทำแห้งได้

ทันทีและต่อเนื่อง ใช้เวลาน้อย เครื่องมือไม่ซับซ้อน ใช้แรงงานต่ำ (สุกัญญา ธนพัฒนากุล และคณะ, 2544; วีระวิทย์ ปองเปี่ยม , 2547; Bender, 1978; Fellows, 1990; Jongen, 2002)

การแปรรูปมะขามเปียกเป็นมะขามผง เป็นการผลิตวัตถุดิบทุติยภูมิ (secondary raw material) สามารถใช้เป็นผลิตภัณฑ์พร้อมใช้ สะดวกต่อการนำไปใช้เป็นส่วนผสมในอาหารต่างๆ เช่น เครื่องปรุงรสในอาหารคาวหวาน ทำน้ำมะขามผงพร้อมดื่ม หรือใช้พัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์มะขามในรูปแบบอื่นๆ ได้ อีกทั้งยังช่วยยืดอายุการเก็บรักษา สามารถเก็บไว้ได้นานโดยไม่ต้องเก็บในที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งช่วยประหยัดพลังงาน เป็นการเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตรภายในประเทศหรือพัฒนาเพื่อการส่งออก การศึกษากระบวนการผลิตมะขามผงและการพัฒนาผลิตภัณฑ์มะขามจึงมีความสำคัญและจำเป็น เพื่อนำไปสู่ผลิตภัณฑ์ที่ดีมีคุณภาพมาตรฐานเชื่อถือได้ ปัจจุบันการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากมะขามเป็นอุตสาหกรรมชุมชนขนาดเล็กหรือในครัวเรือนที่ไม่มีมาตรฐานชัดเจน ส่วนใหญ่จะพบผลิตภัณฑ์มะขามในรูปแบบของขนมขบเคี้ยวหรือเครื่องดื่มเพื่อใช้บริโภคทั่วไป แต่ยังไม่พบรายงานวิจัยที่เกี่ยวกับกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์มะขามเพื่อใช้ในรูปอาหารฟังก์ชันโดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องดื่มฟองฟูและเยลลี่

เครื่องดื่มมะขามฟองฟู

เครื่องดื่มฟองฟูเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างสารจำพวกไบคาร์บอเนตและกรดอินทรีย์ เช่น กรดซิตริก กรดทาร์ทาริก เมื่อสัมผัสกับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาคาร์บอเนชัน (carbonation) ให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีฟองฟู และรสชาติเกิดขึ้น (Bertuzzi, 2005; Macewan, 1953) โดยปฏิกิริยาเป็น ดังสมการ



ผลิตภัณฑ์ฟองฟูมีข้อดีคือมีอัตราการดูดซึมน้ำดี เนื่องจากอยู่ในลักษณะที่เป็นสารละลาย มีรสชาติดีและช่วยเพิ่มความสนใจของผู้บริโภคเนื่องจากเกิดฟองฟูขณะรับประทาน ส่วนข้อด้อยของผลิตภัณฑ์ดังกล่าวคือ ต้นทุนจากวัตถุดิบสูง ต้องปรับปรุงรสชาติให้เป็นที่ยอมรับต่อผู้บริโภค ในตำรับมีปริมาณของโซเดียมหรือโพแทสเซียม ที่มาจากสารพวกไบคาร์บอเนตในปริมาณสูง จึงไม่เหมาะกับผู้ป่วยที่เป็นโรคความดันโลหิตสูง รวมทั้งต้องควบคุมความชื้นเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาฟองฟูก่อนรับประทาน

องค์ประกอบของการตั้งตำรับฟองฟู (ณัชชา ผลศรัทธา และพรจิตร เขียมอุไร, 2544; ทัดทรง ท้วทพิทย์, 2534 ; พรศักดิ์ ศรีอมรศักดิ์, 2547; พัชรีวรรณ ผิงนิล, ประสพโชค พวงสอาด และรัชนก เพ็ญพวง, 2544; ไพโรจน์ วิริยจารี, 2535; Bertuzzi, G. 2005; Wade and Weller, 1994; Sikorski, 2007)

ส่วนประกอบของตำรับฟองฟู ประกอบด้วย

1. สารสำคัญในการออกฤทธิ์(ถ้ามี)
2. ยาพื้นฐานสำหรับเกิดฟองฟู (Effervescent Base) เป็นส่วนผสมของสารที่มีฤทธิ์เป็นกรดและด่าง เช่น สารกลุ่มคาร์บอเนต ซึ่งเป็นแหล่งของคาร์บอนไดออกไซด์
3. สารช่วยอื่นๆ เช่น สารแต่งกลิ่นรส สี เป็นต้น

ในการเลือกใช้ยาพื้นและสารช่วยอื่นๆ ในการผลิตจะต้องพิจารณาเลือกใช้สารที่มีความชื้นต่ำ เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาฟองฟูก่อนใช้งาน (Premature Effervescent Reaction) รวมถึงต้องเลือกใช้สารที่ละลายน้ำได้ดี เพื่อให้เปียกน้ำได้ง่าย

สารที่มีฤทธิ์เป็นกรด

สารที่มีฤทธิ์เป็นกรดที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ชนิดฟองฟูอาจเลือกใช้ได้จาก 3 แหล่งคือกรดอาหาร (Food Acids) แอซิดแอนไฮไดรด์ (Acid Anhydrides) และเกลือของกรด (Acid Salts) โดยแหล่งที่นิยมใช้แต่เดิมคือกรดที่ได้จากธรรมชาติ เช่น กรดซิตริก กรดทาร์ทาริก เป็นต้น

1. กรดอาหาร ได้แก่

1.1 กรดซิตริก เป็นแหล่งของกรดที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์ฟองฟู และยังเป็นตัวช่วยเสริมรสชาติของตำรับ โดยมีลักษณะเป็นผลึกสีขาว ละลายน้ำได้ดีมาก อาจใช้ในรูปแบบ Monohydrate ไม่ดูความชื้นอย่างมีนัยสำคัญ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75% หรือในรูปแบบ Anhydrous ซึ่งไม่ดูความชื้นอย่างมีนัยสำคัญที่ความชื้นสัมพัทธ์ 25-50% แต่ดูความชื้นอย่าง มีนัยสำคัญที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50-75%

1.2 กรดทาร์ทาริก ละลายน้ำได้ดี ไม่ดูความชื้นอย่างมีนัยสำคัญที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 65% (ดีกว่ากรดซิตริก) แต่ความเป็นกรดน้อยกว่า และมีราคาแพง

1.3 กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) ไม่ดูความชื้นแต่ถูกออกซิไดซ์ง่าย ละลายน้ำได้ดี ความเร็วในการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับกรดซิตริกและกรดทาร์ทาริก

1.4 กรดฟอร์มิก (formic acid) ความสามารถในการละลายเท่ากับ 4.5 กรัมต่อลิตร ไม่ดูความชื้น

กรดอื่นๆ เช่น กรดนิโคตินิก (nicotinic acid) กรดมาลิก (malic acid) กรดซัคซินิก (succinic acid) และแอสไพริน (aspirin or acetylsalicylic acid) เป็นต้น

2. แอซิดแอนไฮดรายด์ ได้แก่

แอซิดแอนไฮดรายด์ใช้เป็นสารตั้งต้นในการสร้างกรดเพื่อเตรียมตำรับผลิตภัณฑ์ฟองฟู เช่น กลูตาริกแอนไฮดรายด์ (glutaric anhydride) ซึ่งละลายในน้ำเย็นได้ดี แต่มีรสชาติไม่ดี หรือซิตรีกแอนไฮดรายด์ (citric anhydride) และซัคซินิกแอนไฮดรายด์ (succinic anhydride)

3. เกลือของกรด ได้แก่

เกลือไฮโดรคลอไรด์ของกรดอะมิโน (amino acid hydrochloride) สามารถปลดปล่อยกรดอะมิโนออกมาเป็นสารละลาย ซึ่งมักนิยมใช้ในกรณีที่ต้องการเลี่ยงการเพิ่มความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ในสูตร แต่มีราคาแพงและดูความขึ้นง่าย

แหล่งของคาร์บอนไดออกไซด์ (Bertuzzi, G. 2005; Wade and Weller, 1994)

แหล่งของคาร์บอนไดออกไซด์ ได้แก่ สารจำพวกคาร์บอเนตหรือไบคาร์บอเนต โดยนิยมใช้สารพวกไบคาร์บอเนตมากกว่า สารที่นิยมใช้ ได้แก่

1. โซเดียมไบคาร์บอเนต (Sodium Bicarbonate) เป็นที่นิยมใช้เนื่องจากละลายน้ำได้ดี เป็นผงสีขาว ไม่มีกลิ่น ละลายน้ำให้ pH 8.3 มีรสฝาดเล็กน้อย ไม่ละลายในเอทานอล ไม่เป็นพิษ และราคาถูก นอกจากนี้ยังมีขนาดอนุภาคหลายขนาดให้เลือก เป็นแหล่งกำเนิดของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้เกิดฟองฟูในตำรับ สามารถปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ได้ถึงประมาณ 52% โดยน้ำหนัก ที่มีความชื้นต่ำกว่า 1% ที่ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 80% และที่ความชื้นสัมพัทธ์ 85% จะดูความชื้นและเริ่มสลายตัว เมื่อสัมผัสกับอากาศชื้นจะเปลี่ยนเป็น sodium sesquicarbonate ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ในบางกรณีไม่สามารถเลือกใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตได้ เช่น เมื่อต้องจำกัดปริมาณโซเดียมที่บริโภคในผู้ป่วยความดันโลหิตสูง นอกจากนั้นโซเดียมไบคาร์บอเนตถูกเปลี่ยนเป็นโซเดียมคาร์บอเนตได้เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ดังนั้นการเก็บรักษาโซเดียมไบคาร์บอเนตต้องหลีกเลี่ยงความชื้นและความร้อน

2. โซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate) มีทั้งในรูป anhydrous, monohydrate และ decahydrate ซึ่งละลายได้ดีทั้งสามแบบ โดยชนิด anhydrous ดูดความชื้นได้ดีและเปลี่ยนเป็น monohydrate เมื่ออยู่ในรูปสารละลายจะให้ความเป็นกรด-ด่างสูง (pH 11.5)

3. โพแทสเซียมไบคาร์บอเนต (potassium bicarbonate) ละลายน้ำได้ดี แต่น้อยกว่าเกลือโซเดียม สลายตัวที่อุณหภูมิสูง 200 องศาเซลเซียส ได้เป็นโพแทสเซียมคาร์บอเนต น้ำ และ

คาร์บอนไดออกไซด์ จึงเหมาะกับการเตรียมที่ต้องอบแห้งด้วยความร้อนเมื่อเทียบกับโซเดียมคาร์บอเนต ดูดความชื้นดีที่ความชื้นสัมพัทธ์ 80 %

4. แคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate) ละลายน้ำได้น้อย ไม่ดูดความชื้น

สารช่วยอื่นๆ ในตำรับ

สารช่วยแตกตัว (disintegrants) ไม่นิยมใช้ เนื่องจากอาจมีผลทำให้สารละลายชุนหลังเกิดการแตกตัว ทำให้ได้สารละลายไม่ใส

สารเพิ่มปริมาณ (diluent, fillers) ไม่นิยมใช้เนื่องจากสารหลักที่ใช้ทำให้เกิดฟองฟู่มักมีปริมาณมากแล้ว

สารช่วยไหล (glidants) ไม่จำเป็นต้องใช้ เนื่องจากตำรับมีการไหลดีอยู่แล้ว

สารลดแรงตึงผิว (surfactants) บางครั้งอาจใช้สารลดแรงตึงผิวเพื่อให้ผงยาเปียกได้ง่าย และเพิ่มการละลายของตัวยา แต่ระวังการเกิดฟองในสารละลายหลังเกิดปฏิกิริยาฟองฟู

สารลดฟอง (antifoaming agents) เพื่อลดการเกิดฟองซึ่งอาจมีผลให้ตัวยาคิดอยู่ที่ผิวภาชนะในระดับเหนือผิวสารละลาย อาจเติมสารลดการเกิดฟอง เช่น polydimethylsiloxane แต่ปกติไม่นิยมใช้

ปัญหาความคงตัวที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ชนิดฟองฟูคือการสูญเสียความสามารถในการเกิดฟองฟูเมื่อเก็บไว้นานๆ โดยเฉพาะเมื่อสัมผัสกับความชื้น นอกจากนี้ต้องพิจารณาเรื่องความคงตัวของสารสำคัญและสารช่วยบางชนิด เช่น สารแต่งกลิ่น เป็นต้น

ผลิตภัณฑ์ชนิดฟองฟูไม่คงตัวเมื่อสัมผัสกับความชื้น ผลิตภัณฑ์ชนิดฟองฟูส่วนใหญ่จะดูดความชื้นได้ดี ทำให้เกิดการเสื่อมสลายถ้าไม่ได้บรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม โดยส่วนใหญ่จะนิยมห่อหรือบรรจุผลิตภัณฑ์ฟองฟูด้วยถุงลามิเนต พอลิอะซิโตนีล หรือหลอดโลหะ เพื่อป้องกันความชื้น

ผลิตภัณฑ์ฟองฟูต้องละลายน้ำก่อนรับประทาน จึงต้องตั้งตำรับที่มีรสชาติที่ยอมรับได้ สารละลายหลังจากเกิดปฏิกิริยาฟองฟูควรใส รับประทาน ไม่มีคราบตะกอนข้างภาชนะ จึงต้องพิจารณาเลือกใช้ส่วนประกอบในตำรับอย่างเหมาะสม

เยลลี่

เยลลี่เป็นผลิตภัณฑ์อาหารแบบเจลอยู่ในรูปกึ่งของเหลวกึ่งของแข็ง (เวรดี ธรรมอุปกรณ, ธิติรัตน์ ปานม่วง และสุนันท์ พงษ์สามารถ, 2532; ศรีสุวรรณ อุทกนผล, ศุภลักษณ์ บัณฑิตกุล และมินา บุญญาภิรัตน์, 2531) ที่เตรียมจากการผสมน้ำผลไม้กับน้ำตาลแล้วระเหยน้ำด้วยความร้อนให้มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น เมื่อตั้งทิ้งไว้ให้เย็นจะแข็งตัว มีลักษณะเป็นเจล โดยเยลลี่ที่มี

คุณภาพดีควรมีลักษณะเนื้อสัมผัสเนียน อ่อนนุ่มและลื่น ใสเป็นประกาย มีสีสายนำรับประทาน มีความคงตัวดี เมื่อแกะออกจากภาชนะ มีความไหวตัวมาก แต่ไม่ไหลไปมา สามารถตัดด้วยมีดหรือช้อนได้ง่าย โดยไม่เหนียวติดมีดหรือช้อน รอยตัดต้องเรียบคมและไม่เปลี่ยนรูป

ส่วนประกอบที่สำคัญของเยลลี่ที่ทำจากผลไม้ คือ เพกติน น้ำตาล กรด และน้ำ ในสัดส่วนที่เหมาะสม ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่จะมีผลโดยตรงต่อลักษณะของเยลลี่

เพกติน (อุไรรัช บูรณะคงคาตรี, 2538; Sikorski, 2007)

เพกตินเป็นสารประกอบประเภทโพลีแซคคาไรด์ ซึ่งประกอบด้วย D-galacturonic acid ต่อกันเป็นสายยาวโดยหน่วยของ (1 → 4)-linked-D-galactopyrannosyluronic acid (Aspinall, 1980) เพกตินที่มีอยู่ตามธรรมชาติจะมีหมู่คาร์บอกซิลบางส่วนอยู่ในสภาพเป็นกลาง โดยการแทนที่ไฮโดรเจนอ็อกอนด้วยหมู่เมทิลและจำนวนคาร์บอกซิลที่เป็นกลางนั้นจะมีจำนวนน้อยมากเพียงไรขึ้นอยู่กับภาวะที่ใช้ในการสกัดเพกติน โดยอัตราส่วนระหว่างหน่วยของ D-galacturonic acid ทั้งหมดเรียกว่า Degree of Esterification (DE) ซึ่งมีผลต่อการละลายของเพกติน ภาวะและความสามารถในการเกิดเจล (BeMiller, 1986) เพกตินมีทั้งในรูปแบบที่ไม่ละลายน้ำที่เรียกว่า protopectin และในรูปแบบที่ละลายน้ำได้ประกอบด้วย pectinic acid และ pectic acid ซึ่ง pectinic acid จะมีหมู่เมทิลเป็นองค์ประกอบ ส่วน pectic acid จะถูกกำจัดหมู่เมทิลออกหมด (Crandall และ Wicker, 1986)

การแบ่งประเภทของเพกติน สามารถแบ่งตามค่า DE ได้ 2 ชนิด ดังนี้

1. เพกตินชนิดเมทอกซีสูง คือ เพกตินที่มีค่า DE มากกว่าร้อยละ 50 และสามารถแบ่งเพกตินชนิดนี้ได้เป็น 4 ชนิด คือ ultra rapid set, rapid set, medium set และ slow set เพกตินชนิดนี้สามารถเกิดเจลได้หากอยู่ในภาวะที่มีน้ำตาลและกรดในอัตราส่วนที่เหมาะสม (Crandall และ Wicker, 1986)

2. เพกตินชนิดเมทอกซีต่ำ คือ เพกตินที่มีค่า DE ต่ำกว่าร้อยละ 50 (Crandall และ Wicker, 1986) เพกตินชนิดนี้สามารถเกิดเจลได้หากมีปริมาณอ็อกอนบวกจำนวนประมาณ 25 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักเจล 100 กรัม เช่น แคลเซียม โดยไม่จำเป็นต้องมีน้ำตาลและกรด เนื่องจากเพกตินจะจับกันเป็นบางส่วนจนเกิดเป็นโครงร่างเจลด้วยแรงจากพันธะไฮโดรเจนเป็นสำคัญ (Rouse, 1977) อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ที่ใช้เพกตินชนิดนี้เป็นส่วนประกอบยังไม่เป็นที่นิยมแพร่หลายนัก เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องมีอ็อกอนบวกเป็นส่วนประกอบ รวมทั้งมีรสชาติไม่กลมกล่อมเหมือนผลิตภัณฑ์ที่ใช้เพกตินชนิดเมทอกซีสูงเป็นส่วนประกอบ เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ซึ่งมีปริมาณกรดและน้ำตาลต่ำ

น้ำตาล

1. น้ำตาลซูโครส (Sucrose) (ศิริพร ศิวเวชช, 2546; อุไรรัช บุรณะคงคาตรี, 2538; Marydele, 2001; Sikorski, 2007; Wade และ Weller, 1994)

น้ำตาลซูโครสผลิตได้จากอ้อยหรือหัวบีท ทางการค้าหากกล่าวถึงน้ำตาลจะหมายถึงซูโครสซึ่งเป็นน้ำตาลที่นิยมบริโภคมากที่สุด ซูโครสเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ D-glucopyranosyl-D-fructofuranoside ประกอบด้วยน้ำตาล D-glucose และน้ำตาล D-fructose น้ำตาลซูโครสไม่คงตัวในภาวะเป็นกรด จะถูกไฮโดรไลซ์เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวคือ น้ำตาล levulose และ dextrose (Pancoast และ Junk, 1980) น้ำตาลซูโครสมีความสามารถในการดูดความชื้นปานกลาง ละลายน้ำได้ร้อยละ 66 ที่ 25 องศาเซลเซียส มีความสามารถในการตกผลึกสูง และมีความหนืดสูงกว่าน้ำตาล fructose syrup

2. น้ำตาลฟรุกโตส (Fructose) (พัชรินทร์ ธนกิจโกเศศชฐ และเรณู มทนางกูร, 2548; ศิริพร ศิวเวชช, 2546 Sikorski, 2007; Wade และ Weller, 1994)

ฟรุกโตสหรือน้ำตาลผลไม้หรือลิวโลส (levulose) เป็นโมโนแซคคาไรด์ ที่พบมากตามธรรมชาติในผลไม้เกือบทุกชนิดและในผัก ปัจจุบันสามารถสังเคราะห์ได้จากน้ำตาลซูโครสหรือน้ำตาลกลูโคส ข้อดีของ ฟรุกโตส คือแม้จะให้พลังงานเท่ากับกลูโคส แต่ฟรุกโตสจะมีความหวานประมาณ 2 เท่าของน้ำตาลกลูโคส นอกจากนี้ยังพบว่าการดูดซึมฟรุกโตสของร่างกายจะช้ากว่าน้ำตาลกลูโคส และฟรุกโตสไม่มีคุณสมบัติในการกระตุ้นอินซูลิน (insulin) ดังนั้นจึงนิยมให้ฟรุกโตสเป็นสารให้ความหวานในอาหารสำหรับผู้ป่วยเบาหวานในหลายประเทศ และจากการศึกษาถึงความสามารถในการก่อให้เกิดฟันผุ พบว่าฟรุกโตสเป็นสาเหตุให้เกิดฟันผุน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญ

การเกิดเจลในเพกตินชนิดเมทอกซีสูง (อุไรรัช บุรณะคงคาตรี, 2538; Bender, 1959; Oakenfull, 1987)

โดยปกติเจลจะอยู่ในรูปกึ่งของเหลวกึ่งของแข็ง ประกอบด้วยสายโพลีเมอร์ที่พันกันเกิดเป็นโครงร่างแหขึ้นภายในตัวกลางของเหลว ซึ่งทางด้านอาหาร ของเหลวจะหมายถึงน้ำ สมบัติของเจลจะเป็นผลมาจากการกระทำที่ซับซ้อนระหว่างน้ำและสายโพลีเมอร์เกิดเป็นแรงระหว่างโมเลกุลที่ทำให้โครงร่างแหของสายโพลีเมอร์คงตัวอยู่ได้อย่างสมบูรณ์ โดยน้ำจะทำหน้าที่เป็นตัวทำลายและมีอิทธิพลต่อความสามารถของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล ซึ่งภายในโครงร่างแหนี้จะอุ้มน้ำไว้ทำให้น้ำไม่สามารถไหลออกจากโครงร่างนี้ได้ (Oakenfull, 1987)

การเกิดเจลในเพกตินชนิดเมทอกซีสูงจะต้องมีปริมาณเพกติน กรด และน้ำตาล ในอัตราส่วนที่เหมาะสม (Acoata, Viquez และ Cubero, 2008; Royer และ Madieta, 2006) เนื่องจากเพกตินเมื่อละลายน้ำจะคงตัวอยู่ได้เนื่องจากแรงกระทำทางไฟฟ้าระหว่างออลอนบนสายเพกตินและออลอนบวกจากน้ำ เมื่อเติมสารพวก dehydrating agent เช่น น้ำตาล หรือ สารประกอบพวกที่มีหมู่ไฮดรอกซิลหลายหมู่ จะทำให้การละลายของเพกตินลดลง เนื่องจาก dehydrating action ของน้ำตาลจะรบกวนสมดุลระหว่างเพกตินและน้ำ ส่วนไฮโดรเจนออลอนจากกรดจะช่วยเสริมทำให้เพกตินละลายได้น้อยลง โดยการลดจำนวนออลอนบนสายเพกตินจนกระทั่งเกิดการจับตัวกันบางส่วนของสายเพกติน (Bender, 1959) ด้วยแรงระหว่างโมเลกุลซึ่งเป็นแรงอย่างอ่อน เช่น แรงจากพันธะไฮโดรเจน แรงแวนเดอร์วาล และแรงจาก hydrophobic interaction (HI) เกิดเป็นกลุ่มของ cross-linked ที่เรียกว่า junction zone (Oakenfull, 1987) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า junction zone เกิดจากการจับกลุ่ม (aggregate) กันเป็นบางส่วนของสายเพกตินจนเกิดเป็นโครงร่างแหเจล (Bender, 1959) จากการศึกษาเจลในเพกตินชนิดเมทอกซีสูงโดยวิธี X-ray diffraction และการพิจารณาค่าพลังงานอิสระในการเกิดเจลพบว่าแรงจากพันธะไฮโดรเจนและแรงจาก HI เป็นแรงที่สำคัญต่อการเกิดเจลเพกตินชนิดเมทอกซีสูง

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลและความแข็งแรงของเจลเพกตินชนิดเมทอกซีสูง

1. น้ำตาล

น้ำตาลเป็นปัจจัยสำคัญในการเกิดเจล หน้าที่ของน้ำตาลต่อการเกิดเจลยังไม่ทราบชัดเจน มีทฤษฎีที่กล่าวว่าน้ำตาลทำหน้าที่เป็น dehydrating agent และเป็นปัจจัยสนับสนุนให้เกิดพันธะไฮโดรเจนภายในโครงร่างแห (Crandall และ Wicker, 1986) โดยน้ำตาลจะดึงชั้นของน้ำที่อยู่ล้อมรอบสายเพกติน ทำให้สายเพกตินเข้ามาใกล้กัน (Oakenfull และ Scott, 1984) ต่อมาได้มีผู้ทำการศึกษาพบว่าน้ำตาลทำหน้าที่เป็นปัจจัยสนับสนุนให้เกิด hydrophobic interaction (HI) ซึ่งส่งผลให้สายเพกตินเข้ามาใกล้กันมากขึ้น นอกจากนี้ชนิดของน้ำตาลยังมีผลต่อ HI ต่างกัน โดย Oakenfull และ Scott (1984) ได้ทำการทดลองหาปริมาณความเข้มข้นต่ำสุดของน้ำตาลชนิดต่างๆ ที่ทำให้เกิดเจล พบว่าน้ำตาลแต่ละชนิดมีความเข้มข้นต่ำสุดที่ทำให้เกิดเจลต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากน้ำตาลต่างชนิดกันทำให้เกิด HI แตกต่างกัน กล่าวคือน้ำตาลแต่ละชนิดจะมีตำแหน่งและระยะห่างระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลไม่เหมือนกัน ดังนั้นการเข้าไปทำปฏิกิริยากับน้ำจึงต่างกัน ส่งผลให้เกิด HI ไม่เท่ากัน

ความแข็งแรงของเจลจะสูงขึ้นหากมีปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น (Doesburg, 1965) แต่การที่มีปริมาณน้ำตาลมากเกินไป จะทำให้เพกตินเกิดการจับกลุ่มกันสายเพกตินจนกระทั่งแยกออก

จากสารละลาย ดังนั้นจึงไม่เกิดเจล (Kertesz, 1951) เนื่องจากน้ำส่วนที่มีอยู่จะไปละลายน้ำตาล ทำให้มีน้ำไม่พอเพียงพอต่อการพองตัวและการละลายของเพกตินซึ่งเป็นกลไกแรกที่ทำให้เกิดโครงร่างแหเจล ทำให้ผงเพกตินส่วนใหญ่ไม่ละลายน้ำ ส่งผลให้ไม่มีสายโซ่ของเพกตินในสารละลายน้ำตาลเพียงพอต่อการเกิดโครงร่างแหเจล ปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาลที่เหมาะสมสำหรับการเกิดเจลโดยทั่วไปประมาณร้อยละ 50-80 ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์

2. เพกติน

เพกตินทำหน้าที่เป็น gelling agent ซึ่งทำให้เกิดโครงร่างแหเจล โดยสายเพกตินจะจับกันเป็นบางส่วนด้วยแรงจาก HI และพันธะไฮโดรเจน จนเกิดเป็นโครงร่างแหเจลอุ่มสารละลายไว้ภายใน (Oakenfull และ Scott, 1984) ความเข้มข้นของเพกตินมีผลต่อการเกิดเจลและความแข็งแรงของเจลจะเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณน้ำตาล ระดับไฮโดรเจนไอออนและองค์ประกอบทางเคมีของเพกติน สำหรับหมู่เมทิลมีความสำคัญต่อการเกิดเจล โดยทำให้มีการจับกันระหว่างสายเพกตินจนเกิดเป็นโครงร่างแหเจลมากกว่าจะเป็นการลดประจุลบบนสายเพกตินเท่านั้น อย่างไรก็ตามยังไม่ทราบรายละเอียดที่เกี่ยวกับการชักนำให้เกิดการจับกันระหว่างสายเพกตินอย่างแน่ชัด และหากเพกตินมีหมู่เมทิลมากขึ้น ความเหนียวจะเพิ่มมากขึ้นด้วย อาจเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของโครงสร้างที่น้ำจะเข้าไปล้อมรอบหมู่เมทิล ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดเจลเร็วขึ้น แต่ทั้งนี้จะต้องเพิ่มปริมาณน้ำตาลมากขึ้นด้วย ซึ่งอาจเนื่องจากการที่น้ำที่อยู่ล้อมรอบหมู่เมทิล ซึ่งน้ำตาลต้องเข้าไปทำปฏิกิริยาเพื่อผลักดันให้เกิด HI มีจำนวนเพิ่มมากขึ้น (Walkinshaw และ Arnott, 1981)

3. ไฮโดรเจนไอออน

การเกิดเจลในเพกตินชนิดเมทอกซีสูงนั้น เมื่อไฮโดรเจนไอออนเพิ่มขึ้น ไอออนลบบนสายเพกตินจะลดลง (Kertesz, 1951) ทำให้แรงผลักระหว่างสายน้อยลง (Crandall และ Wicker, 1986) ดังนั้นสายเพกตินจะเข้าใกล้กันมากขึ้น ส่งผลให้เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างเพกติน น้ำ และน้ำตาล เกิดเป็นโครงสร้างเจลขึ้น แต่หากมีปริมาณไฮโดรเจนไอออนมากเกินไปจะยับยั้งการเกิดเจล เนื่องจากสายเพกตินจะถูกตัดให้เป็นสายสั้นๆ หรือมิฉะนั้นสายเพกตินจะเข้ามารวมตัวกันมากจนเกิดการแยกตัวออกจากสารละลาย ไฮโดรเจนไอออนมีผลต่อความแน่นของเจลเพกตินชนิดเมทอกซีสูง ที่เตรียมจากน้ำตาลชนิดต่างๆ แตกต่างกัน และในน้ำตาลชนิดเดียวกันเมื่อปริมาณไฮโดรเจนไอออนเปลี่ยนไป ความแน่นของเจลจะต่างกัน (Crandall และ Wicker, 1986)

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

1. กรดแกลลิก (Gallic acid) (Sigma-Aldrich ประเทศสหรัฐอเมริกา)
2. กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid) (J.T. Baker ประเทศสหรัฐอเมริกา)
3. กรดซิตริก (Citric acid) (Fisher Scientific ประเทศอังกฤษ)
4. กรดทาร์ทาริก (Tartaric acid) (Ajax Finchem ประเทศออสเตรเลีย)
5. กรดออร์โทโรสฟอริก (Orthophosphoric acid) (Ajax Finchem ประเทศออสเตรเลีย)
6. โซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (Sodium dihydrogen phosphate) (E. Merck ประเทศเยอรมันนี)
7. โซเดียมไบคาร์บอเนต (Sodium bicarbonate) (บริษัทเบเกอรี่อาร์ต ประเทศไทย)
8. น้ำตาลซูโครส (Sucrose) (บริษัท เบเกอรี่อาร์ต ประเทศไทย)
9. เพกติน (Pectin) (Danisco., ประเทศเม็กซิโก)
10. ฟรุคโตส (Fructose) (บริษัทเบเกอรี่อาร์ต ประเทศไทย)
11. มอลโตเด็คซ์ทรีน (Maltodextrin) (CT Laboratory ประเทศไทย)
12. เมทานอล (Methanol) (Fisher Scientific ประเทศอังกฤษ)
13. สารให้ความหวานตราสวิซซี่ (Swizsi[®]) (บริษัท อติณพ จำกัด ประเทศไทย)
14. เอทานอล (Ethanol) (องค์การเภสัชกรรม ประเทศไทย)
15. แอมโมเนียมไดไฮโดรเจนออร์โทโรสฟอสเฟต (Ammonium dihydrogen orthophosphate) (Ajax Finchem ประเทศออสเตรเลีย)

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. หม้อนึ่งอัตโนมัติ (Autoclave) (HG 80 HICLAVE[®] Hirayama manufactory Coporation ประเทศญี่ปุ่น)
2. เครื่องชั่งไฟฟ้า 2 ตำแหน่ง (Analytical balance) (BJ 1000 C Precisa Precisa Gravimetrics AG. ประเทศสวิตเซอร์แลนด์)
3. เครื่องชั่งไฟฟ้า 3 ตำแหน่ง (Analytical balance) (Accubar VI หจก.หริกุล ประเทศสหรัฐอเมริกา)

4. เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง (Analytical balance) (Sartorius ED 224S Sartorius AG.ประเทศเยอรมันนี่)
5. เครื่องหมุนเหวี่ยงความเร็วสูง(Centrifuge) (Helfich Rotafix 32 บริษัท เบคไทย จำกัด ประเทศไทย)
6. เครื่องรีแฟคโตมิเตอร์ (Hand refractometer) (ATAGO 8258 บริษัท เบคไทย จำกัด ประเทศไทย)
7. ตู้อบไฟฟ้า (Hot air oven) (WTB binder, Scientific promotion ประเทศเยอรมันนี่)
8. เครื่อง HPLC (Class VP software 6.1, System controller SCL-10Avp, Pump LC-10Advp, Auto sampler SIL-10Advp, Column oven CTO-10Asvp, UV-Vis detector SPD-10Avvp, Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น)
9. HPLC Detector (Alltech ประเทศสหรัฐอเมริกา)
10. HPLC C18-column (Hypersil Gold size 250x4.6 mm, Thermo Scientific ประเทศไทย)
11. ตู้บ่มเชื้อ (Incubator) (Memmert INE 200-800 บริษัท เบคไทย จำกัด ประเทศไทย)
12. เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า(Magnetic Stirrer) (CTL Model HS1 บริษัท ซี.ที.แอล. จำกัด ประเทศไทย)
13. เครื่องทำแห้งแบบพ่น (Mini Spray Dryer) (Buchi 190, Buchi ประเทศสวิสเซอร์แลนด์)
14. เครื่องวัดสี Minolta chroma meter (CR-300, CT 310, Minolta ประเทศญี่ปุ่น)
15. เครื่องวัดความชื้น (Moisture balance) (Sartorius MA 40, Scientific Promotion ประเทศเยอรมันนี่)
16. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง(pH meter) (SevenMulti, Mettler Toledo GmbH., ประเทศสวิสเซอร์แลนด์)
17. เครื่องระเหยแบบหมุนภายใต้ความดันต่ำ (Rotary evaporator) (Buchi rotorium CH 9230, U & V ประเทศสวิสเซอร์แลนด์)
18. เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) (TA-XT2i, P100, Charpa techcenter Co.,Ltd,ประเทศอังกฤษ)
19. Ultra sonicator bath (TRASSONIC 890 บริษัท เบคไทย จำกัด ประเทศไทย)

รูปแบบการวิจัย

การวิจัยเป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental study)

ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

1. พันธุ์มะขามที่ใช้ในการวิจัย

ในการวิจัยนี้เลือกใช้มะขามเปรี้ยวยักษ์พันธุ์โคราช (*Tamarindus indica* L. cultivar sour type, "Priao") เป็นวัตถุดิบในสกัดน้ำมะขาม

2. การเตรียมน้ำมะขามเข้มข้นเพื่อนำไปทำแห้งแบบพ่น

2.1 ขั้นตอนการเตรียมน้ำมะขามเข้มข้น

2.1.1 นำมะขามแกะเปลือก แยกรก เมล็ด และสิ่งแปลกปลอมต่างๆ ออก

2.1.2 สกัดมะขามด้วยน้ำร้อนอุณหภูมิเริ่มต้น 80 องศาเซลเซียส ในอัตราส่วนน้ำหนักมะขามต่อน้ำที่ใช้สกัดทั้งหมด 1:5 โดยแบ่งน้ำเป็น 4 ส่วน แบ่งสกัด 4 รอบ ดังนี้

รอบที่ 1 ใช้น้ำส่วนที่ 1 แช่มะขามเปียกประมาณ 1 ชั่วโมง คนทุกๆ 10 นาที คั้นและกรองด้วยตะแกรงหยาบ

รอบที่ 2 ใช้น้ำส่วนที่ 2 แช่กากมะขามที่เหลือจากการสกัดรอบที่ 1 และสกัดเช่นเดียวกับรอบที่ 1

รอบที่ 3 ใช้น้ำส่วนที่ 3 แช่กากมะขามที่เหลือจากการสกัดรอบที่ 2 และสกัดเช่นเดียวกับรอบที่ 1

รอบที่ 4 นำน้ำมะขามที่สกัดได้จากการสกัดรอบที่ 1 2 และ 3 รวมกัน แล้วกรองผ่านถุงผ้าดิบ นำกากที่เหลือในถุงผ้าดิบ มาสกัดด้วยน้ำส่วนที่ 4 สกัดเช่นเดียวกับรอบที่ 1 แล้วกรองผ่านถุงผ้าดิบอีกครั้ง

2.1.3 รวมน้ำมะขามที่สกัดได้จากข้อ 2.1.2 นำน้ำมะขามไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องเซนตริฟิวจ์ ความเร็ว 4,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที นำเฉพาะส่วนใสของน้ำมะขามมาทำให้เข้มข้นด้วยเครื่องระเหยแบบหมุนภายใต้ความดันต่ำ (rotary evaporator) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส หมุนด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาที จนเหลือน้ำหนักน้ำมะขามเข้มข้น 1/5 ของน้ำหนักน้ำที่ใช้สกัดเริ่มต้น

2.2 ประเมินคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีและของน้ำมะขามเข้มข้น

นำน้ำมะขามเข้มข้นจากข้อ 2.1 มาประเมินคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี
ดังนี้

2.2.1 ลักษณะทางกายภาพ

2.2.1.1 สังเกตสีด้วยตาเปล่าและดมกลิ่น

2.2.1.2 วัดค่าสีของน้ำมะขามเข้มข้นด้วยเครื่องวัดสี Minolta Chromameter โดยการวัดสีดังกล่าวใช้ระบบสีของฮันเตอร์ (Hunter Color System) ประกอบด้วยตัวแปรของสี 3 ตัว คือ L^* , a^* และ b^* ซึ่งมีความหมายดังนี้

L^* คือค่าความสว่างของสี ซึ่งมีค่าจาก 0 คือสีดำ จนถึง 100 คือสีขาว

a^* คือค่าที่บ่งบอกความเป็นสีเขียวและสีแดง ที่อยู่ในตัวอย่าง โดยค่า

a^+ แสดงถึงความเป็นสีแดง และค่า a^- แสดงความเป็นสีเขียว

b^* คือค่าที่บ่งบอกความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน ที่อยู่ในตัวอย่าง โดยค่า

b^+ แสดงถึงความเป็นสีเหลือง และค่า b^- แสดงความเป็นสีน้ำเงิน

2.2.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid) โดยใช้เครื่องรีแฟคโตมิเตอร์ (hand refractometer)

2.2.3 ความเป็นกรดต่าง (pH) โดยใช้เครื่องพีเอชมิเตอร์ (pH meter)

2.2.4 ปริมาณกรดทาร์ทริกโดยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง (high performance liquid chromatography: HPLC) (Gomis, 1992; Zhanguo, 2002; ขวัญเรือน ยิ้มพิมพ์ใจ, 2548; คัทลียา ลีวงศ์พันธ์ และนลินา เล่าเรื่องศิลป์ชัย, 2547; จันคนา บุรณะโอสถ, 2536; ดวงสมร ลิ้มปิติ, 2545; ; วิโรจน์ ชัยพรโกคิน, 2008)

โดยนำค่าสัดส่วนพื้นที่ใต้ยอดแหลมของกราฟ จาก HPLC chromatogram ของกรดทาร์ทริกในน้ำมะขามเข้มข้นกับสารมาตรฐานภายใน (internal standard) มาคำนวณหาความเข้มข้นของกรดทาร์ทริกที่มีอยู่ในน้ำมะขามเข้มข้น โดยเทียบกับเส้นกราฟมาตรฐาน โดยมีระบบดังนี้

1. คอลัมน์ (column) : C18 (Hypersil gold, 5 micron, 250 mm x 4.6 mm)
2. เฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) : 0.5 Ammoniumdihydrogenphosphate pH 2.6
3. ความยาวคลื่นที่ใช้ตรวจสอบ (detector wavelength) : 210 นาโนเมตร (UV Detector)

4. อัตราการไหล (flow rate) : 1 มิลลิลิตรต่อนาที
5. อุณหภูมิในการฉีดสาร (temperature) : 25 องศาเซลเซียส
6. สารมาตรฐานภายใน (internal standard) : กรดแกลลิก (gallic acid)

3. การผลิตผงมะขาม โดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่น (spray dryer)

3.1 สภาวะในการทำแห้งแบบพ่นและการเตรียมตัวอย่าง (วีระวิทย์ ปองเปี่ยม, 2547; สุนทรี วราอุบล, 2537; สุเมธ ตันตระเจียร และคณะ, 2548)

นำน้ำมะขามเข้มข้นที่ได้จากข้อ 2 มาเติมมอลโตเด็คซ์ทรินปริมาณร้อยละ 10 20 30 และ 40 ของน้ำหนักน้ำมะขามเข้มข้นเริ่มต้น ทำให้แห้งเป็นผงมะขามด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่น (spray dryer) ที่อุณหภูมิลมเข้า 130 องศาเซลเซียส อุณหภูมิลมออก 90 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนสารเข้าเครื่อง 3 มิลลิลิตรต่อนาที ความดัน 6 บาร์ อุณหภูมิตัวอย่าง 80 องศาเซลเซียส

3.2 ประเมินคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของผงมะขามที่ได้จากการพ่นแห้ง

นำผงมะขามที่ได้จากข้อ 3.1 มาประเมินคุณสมบัติทางกายภาพ ดังนี้

- 3.2.1 ลักษณะทางกายภาพ (ขวัญตา ณัฐชยางกุล, 2546; เพียง อุดมเกียรติกุล, 2534; วีระวิทย์ ปองเปี่ยม, 2547)
 - 3.2.1.1 สังเกตสีด้วยตาเปล่าและดมกลิ่น
 - 3.2.1.2 วัดค่าสีของน้ำมะขามเข้มข้นด้วยเครื่องวัดสี Minolta Chromameter
- 3.2.2 ลักษณะผงมะขาม สังเกตขนาด การเกาะตัว ตำแหน่งของผงในเครื่องทำแห้งแบบพ่น
- 3.2.3 การละลายน้ำของผงมะขาม (สุนทรี วราอุบล, 2537; วีระวิทย์ ปองเปี่ยม, 2547)
 - 3.2.3.1 เวลาในการละลายน้ำที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส โดยชั่งผงมะขาม น้ำหนัก 1 กรัม ละลายในน้ำอุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสปริมาตร 10 มิลลิลิตร กวนให้ละลายโดยใช้เครื่อง magnetic stirrer สังเกตด้วยตาจนผงมะขามละลายหมด บันทึกเวลาที่ผงมะขาม ละลายหมด
 - 3.2.3.2 ค่าการละลาย ทำการศึกษาโดยวัดในรูปของร้อยละของปริมาณของแข็งที่ไม่ละลาย (% insoluble solid) โดยชั่งผงมะขาม 1 กรัม ให้ทราบน้ำหนัก เติมน้ำในน้ำเดือด 10 มิลลิลิตร คนให้ทั่วเป็นเวลา

30 วินาที กรองขณะร้อนผ่านกระดาษกรองวัดแมนเบอร์ 41 ซึ่งอบที่อุณหภูมิ 100 ± 2 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่แล้ว ใช้เครื่องดูดสูญญากาศช่วยกรอง ล้างตะกอนที่ค้างอยู่บนกระดาษกรองด้วยน้ำร้อนอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนกระทั่งไม่มีน้ำตาลเหลืออยู่ซึ่งทดสอบโดยวิธีของโมลิช (Molisch) โดยนำน้ำล้างตะกอน 2 มิลลิลิตร เติมสารละลายแอลฟาแนฟทอล (α -naphthol) ในเอทานอลร้อยละ 5 จำนวน 2 หยด เขย่า แล้วค่อยๆ รินกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 มิลลิลิตร ลงที่ข้างๆ ด้านในของหลอดทดลอง จะต้องไม่เกิดวงแหวนสีม่วง แล้วนำกระดาษกรองพร้อมส่วนที่ไม่ละลายไปอบให้แห้งในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 100 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในเดซิเคเตอร์จนถึงอุณหภูมิห้องแล้วนำไปชั่งคำนวณค่าการละลายในรูปของร้อยละของปริมาณของแข็งที่ไม่ละลาย โดย

% insoluble solid

$$= \frac{(\text{น้ำหนักของกระดาษกรองหลังอบ} - \text{น้ำหนักของกระดาษกรองก่อนอบ}) \times 100}{\text{น้ำหนักผงมะขาม}}$$

3.2.4 ร้อยละของน้ำหนักผงมะขามที่ผลิตได้ (% yield)

น้ำหนักมะขามที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นมาคำนวณน้ำหนักโดยคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักผงมะขามที่ผลิตได้ คำนวณโดย

$$\% \text{ yield} = \frac{\text{น้ำหนักผงมะขาม}}{(\text{น้ำหนักน้ำมะขามเข้มข้น} + \text{น้ำหนักมอลโตเด็คซ์ตริน})} \times 100$$

3.3 ประเมินคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของผงมะขามที่มีลักษณะทางกายภาพที่ดีที่สุด

คัดเลือกผงมะขามที่มีลักษณะทางกายภาพที่ดีที่สุดจากการประเมินในข้อ 3.2 มาวิเคราะห์เพิ่มเติม ได้แก่

3.3.1 ปริมาณความชื้นโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ความชื้น (moisture balance)

3.3.2 ความเป็นกรดต่าง (pH) โดยละลายผงมะขาม 1 กรัมในน้ำ 10 มิลลิลิตร วัดโดยใช้เครื่องพีเอชมิเตอร์ (pH meter)

3.3.3 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid) โดยละลายผงมะขาม 1 กรัม ในน้ำ 10 มิลลิลิตร โดยใช้เครื่องรีแฟคโตมิเตอร์

3.3.4 ปริมาณกรดทาร์ทาริกโดยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง (high performance liquid chromatography, HPLC)

3.4 การศึกษาความคงตัวของผงมะขาม

3.4.1 คัดเลือกผงมะขามที่มีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่ดีที่สุดจากข้อ 3.2 มาศึกษาความคงตัวของผงมะขาม เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน

3.4.2 ประเมินคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี ของผงมะขาม ในช่วงเวลา 0, 7 15 และ 30 วัน เช่นเดียวกับในข้อ 3.2 และ 3.3

3.4.3 วิเคราะห์ด้านจุลชีววิทยาของผงมะขามผง ในช่วงเวลา 0, 7 15 และ 30 วัน ดังนี้ (รายละเอียดและวิธีวิเคราะห์อยู่ในภาคผนวก จ) (Food and Drug Administration, 1998)

3.4.3.1 การวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count)

3.4.3.2 การวิเคราะห์จำนวนยีสต์และรา (yeast and mold count)

3.4.3.3 การวิเคราะห์จำนวนแบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมด (total coliform) และ *Escherichia coli*

3.4.3.4 การวิเคราะห์ *Staphylococcus aureus*

4. การพัฒนาเครื่องตีม่ะขามผงฟูจากผงมะขามที่ได้จากการพ่นแห้ง

4.1 ศึกษาหาสัดส่วนที่เหมาะสมของสารก่อฟอง (ณัชชา ผลศรัทธา และพรจิตร์ เอี่ยมอุไร, 2544; พรศักดิ์ ศรีอมรศักดิ์, 2547; Macewan, 1953; The United States Pharmacopoeia, 2005)

นำผงมะขามที่มีลักษณะทางกายภาพที่ดีที่สุดจากข้อ 3.2 มาพัฒนาสูตรเครื่องตีม่ะขามผงฟู โดยปรับสัดส่วนของสารก่อฟองฟู ได้แก่ โซเดียมไบคาร์บอเนต และกรดซิตริก โดยแบ่งการทดลองเป็น 4 สูตร แต่ละสูตรประกอบด้วยส่วนประกอบดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ส่วนประกอบของสูตรเครื่องตีม่ะขามผงฟูที่ปรับสัดส่วนของสารก่อฟองฟู

ส่วนประกอบ	สูตร 1 (กรัม)	สูตร 2 (กรัม)	สูตร 3 (กรัม)	สูตร 4 (กรัม)
ผงมะขาม	3.75	3.75	3.75	3.75
โซเดียมไบคาร์บอเนต	0.13	0.26	0.39	0.52
กรดซิตริก	0.10	0.20	0.30	0.40
น้ำตาลซูโครส	4.00	4.00	4.00	4.00
โซเดียมคลอไรด์	0.13	0.13	0.13	0.13

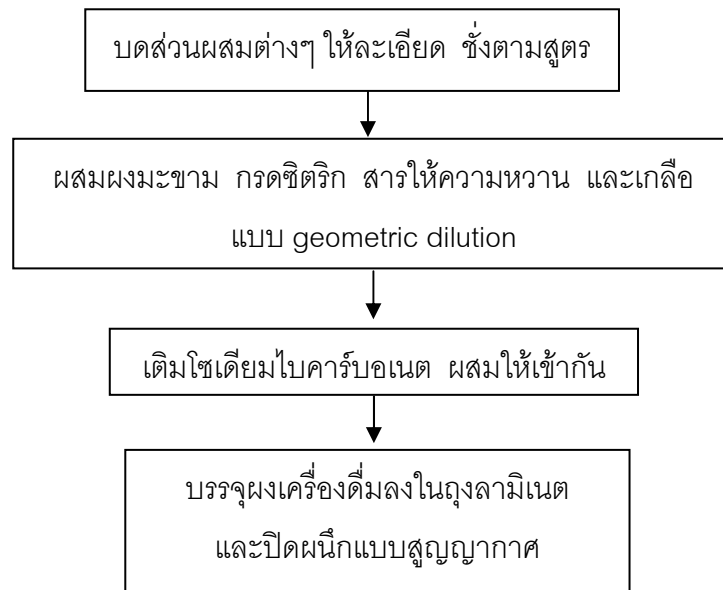
4.2 ขั้นตอนการเตรียมเครื่องตีม่ะขามผงฟู (รูปที่ 1)

4.2.1 บดส่วนผสมต่างๆ ให้ละเอียด แล้วชั่งส่วนประกอบต่างๆ ได้แก่ ผงมะขาม โซเดียมไบคาร์บอเนต กรดซิตริก น้ำตาลซูโครส และเกลือ ตามสัดส่วนที่กำหนดในตารางที่ 4

4.2.2 ผสมผงมะขาม กรดซิตริก น้ำตาลซูโครส และเกลือ แบบ geometric dilution

4.2.3 เติมโซเดียมไบคาร์บอเนต ลงในส่วนผสมข้อ 4.2.2 ผสมให้เข้ากัน

4.2.4 บรรจุผงเครื่องตีม่ะขามลงในถุงลามิเนตและปิดผนึกแบบสุญญากาศ



รูปที่ 1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมเครื่องตีมะขามผงฟู

4.3 ประเมินคุณสมบัติของเครื่องตีมะขามผงฟู

ชั่งผงเครื่องตีที่ผลิตได้แต่ละสูตร แล้วนำมาละลายในน้ำอุณหภูมิห้องปริมาตร 30 มิลลิลิตร กวนให้ละลายโดยใช้เครื่อง magnetic stirrer กวนเป็นเวลา 5 นาที แล้วประเมินคุณสมบัติดังนี้

- 4.3.1 รสชาติ โดยการชิม
- 4.3.2 ลักษณะฟองที่เกิดขึ้น โดยสังเกตขนาดและสีของฟองที่เกิดขึ้นด้วยตาเปล่า
- 4.3.3 ปริมาณฟองที่เกิดขึ้นในช่วงแรกของการเกิดฟอง โดยการสังเกต
- 4.3.4 ระยะเวลาในการยุบตัวของฟอง โดยจับช่วงเวลาตั้งแต่เกิดจนกระทั่งฟองยุบ

4.4 พัฒนาสูตรเครื่องตีมะขามผงฟูโดยปรับปรุงความหวานด้วยสารให้ความหวานชนิดต่างๆ

4.4.1 ปรับสัดส่วนของสารให้ความหวานแต่ละชนิด

เลือกสูตรเครื่องตีมะขามผงฟูที่ดีที่สุดจากข้อ 4.3 มาปรับปรุงความหวานด้วยสารให้ความหวานชนิดต่างๆ แทนน้ำตาลซูโครส ได้แก่ น้ำตาลฟรุกโตส และสารให้ความหวานตราสวิชี ซึ่งเป็นวัตถุให้ความหวานแทนน้ำตาล ประกอบด้วย แลกโตส 96.1 % แอสปาร์แตม 1.7 % และ อะซีซัลเฟม เค 1.7 % โดยปรับสัดส่วนของสารให้ความหวานต่างๆ แทนการใช้น้ำตาลซูโครส ในสูตรเครื่องตีมะขามผงฟูที่เลือกจากข้อ 4.3 ดังนี้

- 4.4.1.1 น้ำตาลฟรุกโตส น้ำหนัก 2 3 และ 4 กรัม
- 4.4.1.2 สารให้ความหวานตราสวิชี 0.15 0.25 และ 0.35
- 4.4.1.3 น้ำตาลซูโครสผสมกับสารให้ความหวานตราสวิชีในอัตราส่วน 1:0.15 2:0.15 และ 3:0.15 กรัม

4.4.2 ขั้นตอนการเตรียมเครื่องตีมะขามผงฟู

เตรียมเครื่องตีมะขามผงฟูโดยใช้สารให้ความหวานชนิดต่างๆ ตามสัดส่วนที่กำหนดในข้อ 4.4.1 ขั้นตอนการเตรียมเช่นเดียวกับข้อ 4.2

4.4.3 ประเมินคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเครื่องตีมะขามผงฟูที่มี

การปรับปรุงความหวานด้วยสารให้ความหวานชนิดต่างๆ เช่นเดียวกับข้อ 4.3

4.5 คัดเลือกสูตรเครื่องดื่มน้ำมะขามผงฟูที่เป็นตัวแทนของสูตรเครื่องดื่มน้ำที่เตรียมจาก สารให้ความหวานแต่ละชนิด

คัดเลือกสูตรเครื่องดื่มน้ำมะขามผงฟู 5 สูตร ที่เป็นตัวแทนของสูตรเครื่องดื่มน้ำที่เตรียมจากสารให้ความหวานแต่ละชนิด ซึ่งมีคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพที่ดีจากการประเมินในข้อ 4.3 และ 4.4.3 ดังนี้

- 4.5.1 ตัวแทนของสูตรเครื่องดื่มน้ำที่ใช้น้ำตาลซูโครส 2 สูตร เพื่อเป็นตัวแทนของสูตรที่มีความหวานมากและความหวานน้อยอย่างละ 1 สูตร
- 4.5.2 ตัวแทนของสูตรเครื่องดื่มน้ำที่ใช้น้ำตาลฟรุกโตส 1 สูตร
- 4.5.3 ตัวแทนของสูตรเครื่องดื่มน้ำที่ใช้สารให้ความหวานตราสวีทชี 1 สูตร
- 4.5.4 ตัวแทนของสูตรเครื่องดื่มน้ำที่ใช้น้ำตาลซูโครสผสมสารให้ความหวานตราสวีทชี 1 สูตร

4.6 ประเมินคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสูตรเครื่องดื่มน้ำที่ถูกคัดเลือก 5 สูตร

- 4.6.1 สีของเครื่องดื่มน้ำมะขามผงฟูเมื่อละลายน้ำแล้ว โดยการสังเกตด้วยตาเปล่าและการวัดโดยใช้เครื่องวัดสี Minolta Chromameter
- 4.6.2 สีของผงเครื่องดื่มน้ำ โดยการสังเกตด้วยตาเปล่าและการวัดโดยใช้เครื่องวัดสี Minolta Chromameter
- 4.6.3 ลักษณะของผงของเครื่องดื่มน้ำ
- 4.6.4 กลิ่น โดยการดม
- 4.6.5 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยใช้เครื่องพีเอชมิเตอร์ (pH meter)
- 4.6.6 ปริมาณความชื้น โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ความชื้น (moisture balance)
- 4.6.7 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid) โดยใช้เครื่องรีแฟคโตมิเตอร์ (hand refractometer)
- 4.6.8 การละลายน้ำที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส วิธีการวัดเช่นเดียวกับข้อ 3.2.3

4.7 ประเมินความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำมะขามผงฟู

นำเครื่องดื่มน้ำมะขามผงฟูทั้ง 5 สูตรจากข้อ 4.5 มาประเมินความพึงพอใจโดยใช้วิธีให้คะแนนการยอมรับของผลิตภัณฑ์ในด้านต่างๆ โดยผู้ประเมินกึ่งผู้ฝึกฝน 10 ราย

ให้คะแนนความชอบต่อผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่ 1- 5 โดยคะแนน 1 = ไม่ชอบมากที่สุด และคะแนน 5 = ชอบมากที่สุด ดังนี้

- 4.7.1 สีและลักษณะที่ปรากฏให้เห็นภายนอกของผงเครื่องดื่ม
- 4.7.2 สีและลักษณะที่ปรากฏให้เห็นภายนอกของผงเครื่องดื่มเมื่อละลายน้ำ
- 4.7.3 กลิ่นของผงเครื่องดื่มเมื่อละลายน้ำ
- 4.7.4 รสชาติของเครื่องดื่ม
- 4.7.5 ลักษณะการเกิดฟอง
- 4.7.6 ความชอบโดยรวม

4.8 การศึกษาความคงตัวของเครื่องดื่มมะขามผงฟู

- 4.8.1 คัดเลือกเครื่องดื่มมะขามผงฟูที่มีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่ดีที่สุดจากข้อ 4.6 มาศึกษาความคงตัวของเครื่องดื่มมะขามผง เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องและที่ อุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน
- 4.8.2 ประเมินคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเครื่องดื่มมะขามผงฟู ในช่วงเวลา 0 7 15 และ 30 วัน เช่นเดียวกับข้อ 4.6.2-4.6.7 และวิเคราะห์เพิ่มเติมในด้าน ปริมาณกรดทาร์ทาริกโดยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง (high performance liquid chromatography, HPLC)
- 4.8.3 วิเคราะห์ด้านจุลชีววิทยาของเครื่องดื่มมะขามผงฟู ในช่วงเวลา 0, 7 15 และ 30 วัน เช่นเดียวกับในข้อ 3.4.3

5. การพัฒนาเยลลี่จากผงมะขามที่ได้จากการพ่นแห้ง

5.1. ศึกษาหาสัดส่วนที่เหมาะสมของ น้ำตาลซูโครส ผงมะขาม และเพกติน

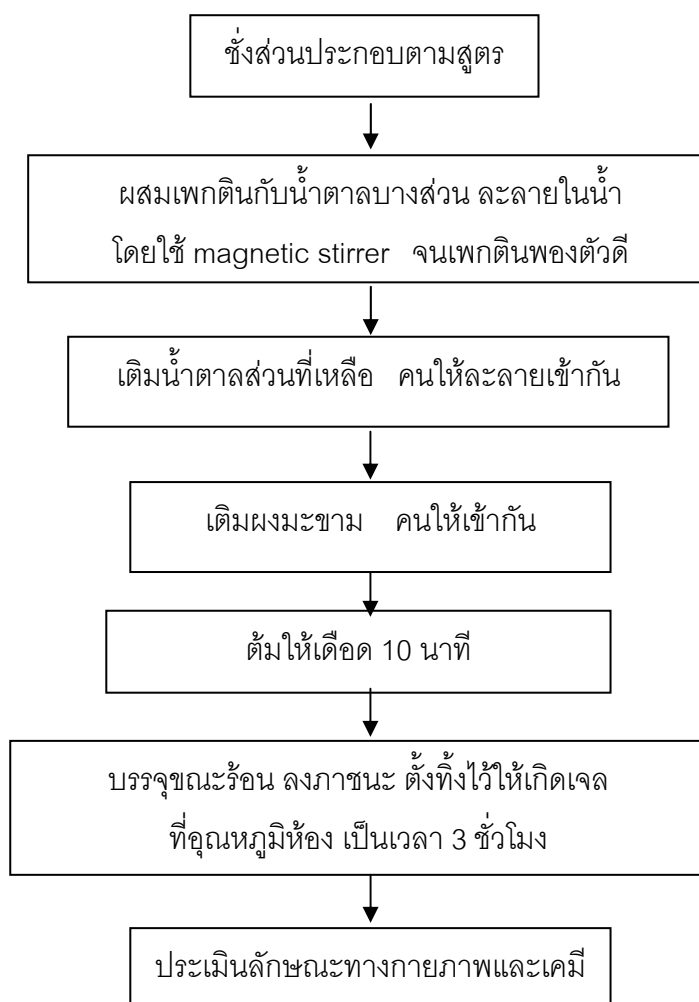
นำผงมะขามที่มีลักษณะทางกายภาพที่ดีที่สุดจากข้อ 3.2 มาพัฒนาสูตรเยลลี่มะขาม โดยปรับสัดส่วนของน้ำตาลซูโครส ผงมะขาม และเพกติน ที่ทำให้เกิดการแข็งตัวของเยลลี่ โดยวางแผนการทดลองแบบ symmetric factorial design ขนาด $3 \times 3 \times 3$ จำนวนการทดลองทั้งหมด 27 สูตร ทดลอง 2 ซ้ำ โดยปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำตาลซูโครส ผงมะขาม และเพกตินดังนี้

- น้ำตาลซูโครส ร้อยละ 35, 40 และ 45 โดยน้ำหนัก
- ผงมะขาม ร้อยละ 3, 6 และ 9 โดยน้ำหนัก
- เพกติน ร้อยละ 0.8, 1.0 และ 1.2 โดยน้ำหนัก

และเติมเกลือร้อยละ 0.1 และปรับปริมาตรให้ครบด้วยน้ำ

5.2. ขั้นตอนการเตรียมเยลลี่ (รูปที่ 2)

- 5.2.1. ซึ่งส่วนประกอบต่างๆได้แก่ น้ำตาลซูโครส ผงมะขาม เพกติน เกลือและน้ำ ตามสัดส่วน ที่กำหนด
- 5.2.2. ละลายเพกตินกับน้ำตาลซูโครสบางส่วนในน้ำโดยใช้ magnetic stirrer คนจนเพกตินพองตัวดี
- 5.2.3. เติมน้ำตาลส่วนที่เหลือลงในส่วนสารละลายเพกติน คนจนน้ำตาลละลายหมด
- 5.2.4. เติมผงมะขามลงในส่วนผสมข้อ 5.2.3 คนจนผงมะขามละลายหมด
- 5.2.5. ต้มเดือดนาน 10 นาที
- 5.2.6. บรรจุเยลลี่ขณะร้อนลงในภาชนะที่ทำความสะอาดแล้ว ตั้งทิ้งไว้ให้เกิดเจล ที่อุณหภูมิห้อง 3 ชั่วโมง



รูปที่ 2 แผนภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมเฮลดีมะขาม

5.3. ประเมินผลการเกิดเจลของเยลลี่

สังเกตจากการแข็งตัวของเยลลี่ที่เตรียมได้ เมื่อตั้งทิ้งไว้ให้เกิดเจลที่อุณหภูมิห้อง 3 ชั่วโมง โดยเอียงภาชนะ ถ้าแข็งตัวตามรูปภาชนะ แสดงว่าเกิดเจล ถ้ามีลักษณะเป็นสารละลายน้ำเชื่อมข้นหนืดไหลตามการเอียง แสดงว่าไม่เกิดเจล

5.4. ประเมินคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีเฉพาะสูตรเยลลี่ที่เกิดเจล

เลือกเฉพาะสูตรเยลลี่ที่เกิดเจลจากข้อ 5.3 มาประเมินดังนี้

- 5.4.1. ลักษณะที่ปรากฏโดยสังเกตด้วยตาเปล่า ได้แก่ สี ความใส
- 5.4.2. การไหลตัว ความคงตัว โดยการกดด้วยช้อน
- 5.4.3. รอยตัดด้วยช้อน ใช้ช้อนตัดเยลลี่ สังเกตความเรียบคมของรอยตัด ความคงรูปของรอยตัด การเหนียวติดช้อนของเนื้อเยลลี่
- 5.4.4. ความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยละลายเนื้อเยลลี่ 10 กรัม ในน้ำเดือด 20 มิลลิลิตร วัดโดยใช้เครื่องพีเอชมิเตอร์ (pH meter)
- 5.4.5. ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid) โดยใช้เครื่องรีแฟคโตมิเตอร์ (hand refractometer)
- 5.4.6. ความแข็ง (hardness) โดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (texture analyzer)

ใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (texture analyzer) วัดค่าความแข็งของเจล (hardness) ของเยลลี่ โดยใช้หัว P100 (100 mm. diameter cylinder stainless) วัดลักษณะเนื้อสัมผัสในระบบ TPA ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง เตรียมตัวอย่างโดยตัดเยลลี่เป็นชิ้นลูกบาศก์ขนาด 1x1x1 นิ้ว เพื่อใช้ในการทดลอง โดยตั้งค่า parameter ของเครื่องดังนี้

Parameter

Pre test speed	2.0	mm/s
Test speed	2.0	mm/s
Post test speed	2.0	mm/s
Rupture test dish	1%	
Distance	30%	

Trigger

Type	Auto
Force	5 g
Stop plot at final	

5.5. พัฒนาสูตรเยลลี่โดยปรับปรุงความหวานด้วยน้ำตาลชนิดต่างๆ

5.5.1. ปรับสัดส่วนของสารให้ความหวานแต่ละชนิด

เลือกสูตรเยลลี่ที่ดีที่สุดจากข้อ 5.4 มาปรับปรุงความหวานโดยใช้ น้ำตาลชนิดต่างๆ ได้แก่ น้ำตาลซูโครส น้ำตาลฟรุกโตส โดยปรับสัดส่วนของ น้ำตาล ดังนี้

5.5.1.1 น้ำตาลฟรุกโตส ในสัดส่วนร้อยละ 50 60 และ 70 ของน้ำหนักน้ำตาล ซูโครสที่ใช้ในสูตรที่เลือกจากข้อ 5.4

5.5.1.2 น้ำตาลฟรุกโตสผสมกับน้ำตาลซูโครส ในสัดส่วนร้อยละ 25:37.5 โดยน้ำหนักของน้ำตาลซูโครสที่ใช้ในสูตรที่เลือกจากข้อ 5.4

5.5.1.3 น้ำตาลฟรุกโตสผสมกับน้ำตาลซูโครส ในสัดส่วนร้อยละ 50 : 25 โดยน้ำหนักของน้ำตาลซูโครสที่ใช้ในสูตรที่เลือกจากข้อ 5.4

5.5.2. ขั้นตอนการเตรียมเยลลี่

เตรียมเยลลี่โดยใช้สารให้ความหวานชนิดต่างๆ ตามสัดส่วนจากข้อ

5.5.1 โดยขั้นตอนการเตรียมเป็นเช่นเดียวกับข้อ 5.2.1-5.2.6 จากนั้นเคี่ยว เยลลี่ให้เดือดจนกระทั่งวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับสูตรเยลลี่ ที่เลือกจากข้อ 5.4 แล้วบรรจุเยลลี่ขณะร้อนลงในภาชนะ ตั้งทิ้งไว้ให้เกิดเจล ที่อุณหภูมิห้อง 3 ชั่วโมง

5.5.3. ประเมินผลการเกิดเจลของเยลลี่ เช่นเดียวกับข้อ 5.3

5.5.4. ประเมินคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีเช่นเดียวกับข้อ 5.4 เฉพาะสูตรที่เกิดเจล

5.6. เลือกสูตรเยลลี่ที่เป็นตัวแทนของสูตรเยลลี่ที่เตรียมจาก สารให้ความหวานแต่ละชนิด

คัดเลือกสูตรเยลลี่ 4 สูตร ที่เป็นตัวแทนของสูตรเยลลี่ที่เตรียมจากสารให้ ความหวานแต่ละชนิด ซึ่งมีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่ดีจากการประเมินในข้อ 5.4 และ 5.5.4 ดังนี้

5.6.1 ตัวแทนของเยลลี่ที่ใช้น้ำตาลซูโครส 2 สูตร เพื่อเป็นตัวแทนของสูตรเยลลี่ที่มี ความหวานมากและความหวานน้อยอย่างละ 1 สูตร

5.6.2 ตัวแทนของเยลลี่ที่ใช้น้ำตาลฟรุกโตส 1 สูตร

5.6.3 ตัวแทนของเยลลี่ที่ใช้น้ำตาลซูโครสผสมน้ำตาลฟรุกโตส 1 สูตร

5.7. ประเมินคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเยลลี่ที่ใช้น้ำตาลต่างๆ ดังนี้

- 5.7.1. รสชาติและกลิ่น โดยการชิมและดม
- 5.7.2. ค่าสี โดยใช้เครื่องวัดสี Minolta chromameter
- 5.7.3. ปริมาณกรดทาร์ทาริกโดยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง (high performance liquid chromatography, HPLC)

5.8. ประเมินความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์เยลลี่

นำเยลลี่ทั้ง 4 สูตรจากข้อ 5.6 มาประเมินความพึงพอใจโดยใช้วิธีให้คะแนนการยอมรับของผลิตภัณฑ์ในด้านต่างๆ โดยผู้ประเมินถึงฝึกฝน 10 ราย ให้คะแนนความชอบต่อผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่ 1- 5 โดยคะแนน 1 = ไม่ชอบมากที่สุด และคะแนน 5 = ชอบมากที่สุด ดังนี้

- 5.8.1 สี ลักษณะที่ปรากฏให้เห็นภายนอก
- 5.8.2 กลิ่นของเยลลี่
- 5.8.3 รสชาติของเยลลี่
- 5.8.4 เนื้อสัมผัสขณะรับประทาน
- 5.8.5 รอยตัดเยลลี่ด้วยช้อน
- 5.8.6 ความชอบโดยรวม

6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว (One-Way Analysis of variance, ONE-WAY ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคู่ด้วยวิธี Duncan 's Multiple Range Test ผลการวิเคราะห์แสดงค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2540)

บทที่ 4

ผลการวิจัย

1. พันธุ์มะขาม

ในการวิจัยนี้เลือกใช้มะขามเปรี้ยวยักษ์พันธุ์โคราช เนื่องจากมีความเปรี้ยวสูง จึงน่าจะมีกรดผลไม้ตามธรรมชาติมากเพียงพอในการเป็นส่วนประกอบสำคัญในการพัฒนาสูตรตำรับเครื่องดื่มมะขามผงฟูและเยลลี่ โดยในการทดลองใช้ส่วนเนื้อของผลแก่ของมะขามฝักมะขามมีขนาดแบนใหญ่ (รูปที่ 3) โค้งยาวประมาณ 12-15 ซม. เปลือกสีน้ำตาลแข็งกรอบ หักง่าย เนื้อมะขามเป็นสีน้ำตาลแดงเข้ม มีรสเปรี้ยวจัด กลิ่นหอมมะขาม มีเมล็ดขนาดใหญ่ 7-13 เมล็ดต่อฝัก เนื้อฉ่ำมีความชื้นสูง น้ำหนักฝักประมาณ 80-150 กรัมต่อฝัก เก็บจากสวนมะขามคุณประนอม คงสมภักตร์ บ้านเลขที่ 134 ม.2 ต.โป่งตาลอง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา เมื่อเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551



รูปที่ 3 มะขามเปรี้ยวยักษ์พันธุ์โคราชที่ใช้ในการทดลอง

7. การประเมินคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมะขามเข้มข้น

นำน้ำมะขามเข้มข้นมาประเมินคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ ได้แก่ สี กลิ่น ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ความเป็นกรดต่าง ปริมาณกรดทาร์ทาริก แสดงผลในตารางที่ 3 ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีและของน้ำมะขามเข้มข้น

คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี	ผลการทดลอง*
สี (จากการสังเกต)	สีน้ำตาลแดงเข้ม
กลิ่น	กลิ่นหอมมะขาม
ค่าสี	
L*	33.72 (0.02)
a*	+41.54 (0.04)
b*	+57.19 (0.03)
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°brix)	49.67 (0.58)
ความเป็นกรดต่าง (pH)	1.943 (0.039)
ปริมาณกรดทาร์ทาริก (มิลลิกรัม) (ในน้ำมะขามเข้มข้น 1 กรัม)	187.2 (0.2)

* ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง และค่าในวงเล็บแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3. การผลิตผงมะขาม โดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่น (spray dryer)

3.1 การประเมินคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของผงมะขามที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่น

ลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ สี กลิ่น จากการสังเกตและดมกลิ่น ค่าสีของผงมะขาม ลักษณะผงมะขาม ค่าการละลายแสดงในรูปร้อยละของปริมาณของแข็งที่ไม่ละลาย (% insoluble solid) และเวลาในการละลาย และร้อยละของน้ำหนักของผงมะขามที่ผลิตได้ (%yield) แสดงผลในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 คุณสมบัติทางภาพและเคมีของผงมะขามที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่น*

ร้อยละของ มอลโต เด็ทซ์ทริน	กลิ่น	สี	ค่าสี*			ลักษณะผงมะขาม	ร้อยละของ ปริมาณ ของแข็งที่ไม่ ละลาย (% insoluble solid)	เวลาในการละลาย (วินาที)		ร้อยละผง มะขามที่ ได้ (% Yield) (กรัม)
			L*	a*	b*			น้ำที่ อุณหภูมิ ห้อง	น้ำที่ อุณหภูมิ 80°C	
10	หอมกลิ่น	สีน้ำตาล	54.91	+9.01	+18.06	ผงขนาดใหญ่ เกะกันเป็นก้อน ขึ้นมาก ผงที่ได้เกาะติดผนังของเครื่องพ่น ต้องชูดออก	0.0998	143	73	5.126
	มะขาม	อ่อน	(0.02)	(0.06)	(0.18)		(0.0282)	(11)	(11)	(0.101)
20	หอมกลิ่น	สีน้ำตาล	56.74	+8.18	+16.62	ผงขนาดใหญ่ เกะกันเป็นก้อน ขึ้นมาก ผงที่ได้เกาะติดผนังของเครื่องพ่น ต้องชูดออก	0.1999	170	100	5.699
	มะขาม	อ่อน	(0.40)	(0.54)	(1.62)		(0.1130)	(7)	(7)	(0.214)
30	หอมกลิ่น	สีน้ำตาล	57.97	+8.87	+19.41	ผงขนาดใหญ่ปนขนาดเล็ก เกาะกันเป็นก้อนบางส่วน ขึ้นมาก ผงที่ได้เกาะติดผนังของเครื่องพ่น ต้องชูดออก	0.2699	168	105	11.550
	มะขาม	อ่อน	(0.04)	(0.02)	(0.04)		(0.0423)	(11)	(7)	(1.067)
40	หอมกลิ่น	สีน้ำตาล	77.32	+4.29	+16.10	ผงขนาดเล็ก ร่วนละเอียด ขึ้นเล็กน้อย ผงที่ได้เกาะติดผนังของเครื่องพ่น ต้องชูดออก	1.1485	138	80	29.369
	มะขาม	อ่อน	(0.03)	(0.01)	(0.02)		(0.1003)	(11)	(1)	(1.540)

*ค่าเฉลี่ยได้จากการวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง และ ค่าในวงเล็บแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3.2 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของผงมะขามที่มีลักษณะทางกายภาพที่ดีที่สุด

คัดเลือกผงมะขามที่มีลักษณะทางกายภาพที่ดีที่สุดจากการประเมินในข้อ 3.2 พบว่าผงมะขามที่ได้จากเตรียมโดยใช้น้ำมะขามเข้มข้นผสมมอลโตเด็คซ์ทรินร้อยละ 40 มีลักษณะที่ดีที่สุด มี % yield มากที่สุด จึงนำมาประเมินเพิ่มเติม ได้แก่ ปริมาณความชื้น ความเป็นกรดต่าง (pH) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid) และปริมาณกรดทาร์ทาริก แสดงผลในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ปริมาณความชื้น ความเป็นกรดต่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและปริมาณกรดทาร์ทาริกของผงมะขามที่ผสมมอลโตเด็คซ์ทรินร้อยละ 40

คุณสมบัติ	ผลการทดลอง*
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	2.24 (0.07)
ความเป็นกรดต่าง (pH)	2.627 (0.023)
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°brix)	2.8 (0.3)
ปริมาณกรดทาร์ทาริก (มิลลิกรัม) (ในผงมะขาม 1 กรัม)	160.6 (0.8)

*ค่าเฉลี่ยได้จากการวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง และ ค่าในวงเล็บแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3.3 การศึกษาความคงตัวของผงมะขาม

ผงมะขามจากน้ำมะขามเข้มข้นผสมมอลโตเด็คซ์ทรินร้อยละ 40 เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีลักษณะผงที่ละเอียด ร่วน ไม่เกาะกันเป็นก้อน ชื้นน้อย ได้น้ำหนักมะขามผงที่ผลิตได้มากที่สุด นำผงมะขามดังกล่าวมาศึกษาความคงตัว โดยประเมินคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และ จุลชีววิทยา เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน โดยผลการประเมินทางกายภาพและเคมี ได้แก่ สี กลิ่น ค่าสี ลักษณะผงมะขาม เวลาในการละลาย ค่าการละลาย ปริมาณความชื้น ความเป็นกรดต่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณกรดทาร์ทาริก แสดงผลในตารางที่ 6 และ 7 ส่วนผลการประเมินทางจุลชีววิทยาไม่พบยีสต์ รา *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* พบแบคทีเรียชนิดโคลิฟอร์มน้อยกว่า 2 MPN/g พบเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดชนิดมีโซไฟล์น้อยกว่า 10 cfu /g แสดงผลในตารางที่ 8 และ 9

ตารางที่ 6 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของผงมะขาม เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ณ วันเริ่มต้น 7 15 และ 30 วัน *

เวลา	สีของผงมะขาม				ลักษณะผงมะขาม	กลิ่น	ความชื้น	pH	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (° brix)	ร้อยละของปริมาณของแข็งที่ไม่ละลาย	ค่าการละลาย		ปริมาณกรดทาร์ทาริก ในผงมะขาม 1 กรัม (มิลลิกรัม)
	จากการสังเกต	ค่าสี									อุณหภูมิห้อง	น้ำ 80 องศาเซลเซียส	
		L*	a*	b*									
เริ่มต้น	สีน้ำตาลอ่อน	77.31 (1.68)	+4.29 (0.29)	+16.12 (0.47)	ผงขนาดเล็ก ร่วน ไม่เกาะเป็นก้อน	กลิ่นหอมมะขาม	2.24 ^a (0.07)	2.627 ^a (0.023)	2.8 ^a (0.3)	1.1422 ^a (0.0718)	138 ^a (8)	83 ^a (6)	160.6 ^a (0.8)
วันที่ 7	สีน้ำตาล	72.70 (1.59)	+4.90 (0.25)	+15.66 (0.35)	ผงขนาดเล็ก เกาะเป็นก้อน	กลิ่นหอมมะขาม	3.14 ^b (0.08)	2.633 ^a (0.014)	2.7 ^a (0.3)	1.2520 ^{ab} (0.0654)	187 ^b (8)	145 ^b (9)	158.8 ^a (0.6)
วันที่ 15	สีน้ำตาล	70.82 (0.09)	+5.73 (0.03)	+17.45 (0.04)	ผงขนาดเล็ก เกาะเป็นก้อน	กลิ่นหอมมะขาม	3.51 ^c (0.07)	2.654 ^a (0.037)	2.5 ^a (0.5)	1.2683 ^{ab} (0.0841)	192 ^b (10)	158 ^b (10)	157.8 ^b (0.4)
วันที่ 30	สีน้ำตาล	68.17 (0.14)	+6.76 (0.01)	+16.72 (0.24)	ผงขนาดเล็ก เกาะเป็นก้อน	กลิ่นหอมมะขาม	3.69 ^d (0.11)	2.663 ^a (0.040)	2.7 ^a (0.3)	1.3239 ^b (0.0456)	212 ^c (13)	157 ^b (13)	155.9 ^c (0.2)

* ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง และค่าในวงเล็บคือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{abcd} เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามแนวดิ่ง โดยอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 7 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของผงมะขาม เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียส ณ วันเริ่มต้น 7 15 และ 30 วัน *

เวลา	สีของผงมะขาม				ลักษณะผงมะขาม	กลิ่น	ความชื้น	pH	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (° brix)	ร้อยละของปริมาณของแข็งที่ไม่ละลาย	ค่าการละลาย		ปริมาณกรดทาร์ทริก ในผงมะขาม 1 กรัม (มิลลิกรัม)
	จากการสังเกต	ค่าสี									อุณหภูมิห้อง	น้ำ 80 องศาเซลเซียส	
		L	a	b									
เริ่มต้น	สีน้ำตาลอ่อน	77.31 (1.68)	+4.29 (0.29)	+16.12 (0.47)	ผงขนาดเล็ก ร่วน ไม่เกาะเป็นก้อน	กลิ่นหอมมะขาม	2.24 ^a (0.07)	2.627 ^a (0.023)	2.8 ^a (0.3)	1.1422 ^a (0.0718)	138 ^a (8)	83 ^a (6)	160.6 ^a (0.8)
วันที่ 7	สีน้ำตาลอ่อน	73.78 (0.26)	+4.91 (0.03)	+16.37 (0.53)	ผงขนาดเล็ก ร่วน ไม่เกาะเป็นก้อน	กลิ่นหอมมะขาม	2.88 ^b (0.03)	2.635 ^a (0.016)	2.8 ^a (0.3)	1.1446 ^a (0.1644)	142 ^a (3)	82 ^a (3)	159.8 ^a (0.7)
วันที่ 15	สีน้ำตาลอ่อน	73.80 (0.55)	+4.64 (0.05)	+15.57 (0.17)	ผงขนาดเล็ก ร่วน ไม่เกาะเป็นก้อน	กลิ่นหอมมะขาม	3.11 ^c (0.05)	2.646 ^a (0.014)	2.7 ^a (0.3)	1.2447 ^a (0.0541)	147 ^a (8)	88 ^{ab} (6)	158.7 ^{ab} (1.1)
วันที่ 30	สีน้ำตาล	73.48 (1.66)	+5.26 (0.47)	+16.78 (0.69)	ผงขนาดเล็ก บางส่วนเกาะเป็นก้อน	กลิ่นหอมมะขาม	3.30 ^d (0.05)	2.645 ^a (0.023)	2.5 ^a (0.5)	1.2682 ^a (0.0791)	167 ^b (8)	97 ^b (8)	157.5 ^{ab} (1.0)

* ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง และค่าในวงเล็บคือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{abcd} เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง โดยอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์ด้านจุลชีววิทยาของผงมะขาม เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง
ที่ระยะเวลาต่างๆ

การวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา	ระยะเวลาที่เก็บตัวอย่างไว้ ณ อุณหภูมิห้อง			
	เริ่มต้น	7 วัน	15 วัน	30 วัน
จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดชนิดมีไซโทฟิลล์ (cfu /g) ¹	< 10	< 10	< 10	< 10
จำนวนยีสต์และรา (cfu /g) ¹	< 10	< 10	< 10	< 10
จำนวนโคลิฟอร์มทั้งหมด (MPN /g) ²	< 2	< 2	< 2	< 2
จำนวน <i>E.coli</i>	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ
จำนวน <i>S.aureus</i> (cfu /g) ¹	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ

¹ cfu / g = colony forming unit ต่อผงมะขาม 1 กรัม

² MPN / g = Most Probable Number ต่อผงมะขาม 1 กรัม

ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์ด้านจุลชีววิทยาของผงมะขาม เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียสที่ระยะเวลาต่างๆ

การวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา	ระยะเวลาที่เก็บตัวอย่างไว้ ณ อุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียส			
	เริ่มต้น	7 วัน	15 วัน	30 วัน
จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดชนิดมีไซโทฟิลล์ (cfu /g) ¹	< 10	< 10	< 10	< 10
จำนวนยีสต์และรา (cfu /g) ¹	< 10	< 10	< 10	< 10
จำนวนโคลิฟอร์มทั้งหมด (MPN /g) ²	< 2	< 2	< 2	< 2
จำนวน <i>E.coli</i>	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ
จำนวน <i>S.aureus</i> (cfu /g) ¹	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ

¹ cfu / g = colony forming unit ต่อผงมะขาม 1 กรัม

² MPN / g = Most Probable Number ต่อผงมะขาม 1 กรัม

4. การพัฒนาเครื่องตีมะขามผงฟูจากผงมะขามที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่น

4.1 สัดส่วนที่เหมาะสมของสารก่อฟองฟู

เครื่องตีมะขามผงฟูทุกสูตรจะเติมผงมะขาม 3.75 กรัม น้ำตาลซูโครส 4.00 กรัม และเกลือ 0.13 กรัม เท่ากัน และแปรปริมาณสารก่อฟองฟูเป็น 4 สูตร โดยมีอัตราส่วนของโซเดียมไบคาร์บอเนตต่อกรดซิตริกเท่ากับ 0.13:0.10 0.26:0.20 0.39:0.30 และ 0.52:0.40 ตามลำดับ

4.2 การเตรียมเครื่องตีมะขามผงฟู

ผสมเครื่องตีมะขามผงฟูแบบ geometric dilution ได้ทั้งหมด 4 สูตร บรรจุผงเครื่องตีลงในถุงลามิเนตและนำมาประเมินต่อไป

4.3 คุณสมบัติทางกายภาพของเครื่องตีมะขามผงฟู

ประเมินคุณสมบัติผงเครื่องตีแต่ละสูตรในด้านรสชาติ ลักษณะฟองที่เกิดขึ้น ปริมาณฟองที่เกิดขึ้นในช่วงแรกของการเกิดฟอง และเวลาในการเกิด/ยุบของฟอง แสดงผลในตาราง ที่ 10

ตารางที่ 10 รสชาติ ลักษณะฟอง ปริมาณฟองและระยะเวลาในการยุบตัวของฟองของเครื่องตีมะขามผงฟูสูตรที่ 1-4

สูตรที่ ¹	รสชาติ ²		ลักษณะฟอง	ปริมาณฟอง (มล) [*]	ระยะเวลาในการยุบตัวของฟอง (นาที:วินาที)
	ความเปรี้ยว	ความหวาน			
1	++	++	เนื้อฟองละเอียด สีน้ำตาลอ่อน ฟองฟูขึ้นทันทีเมื่อเทลงน้ำ ฟองค่อยๆ ยุบ	17(3) ^a	5:40 ^a
2	++	++	เนื้อฟองละเอียด สีน้ำตาลอ่อน ฟองฟูขึ้นทันทีเมื่อเทลงน้ำ ฟองค่อยๆ ยุบ	33(3) ^b	7:17 ^b
3	++	++	เนื้อฟองละเอียด สีน้ำตาลอ่อน ฟองฟูขึ้นทันทีเมื่อเทลงน้ำ แต่ฟองยุบช้า	42(3) ^c	12:35 ^c
4	++	++	เนื้อฟองละเอียด สีน้ำตาลอ่อน ฟองฟูขึ้นทันทีเมื่อเทลงน้ำ แต่ฟองยุบช้า	57(3) ^d	17:05 ^d

¹สูตรที่ 1-4 มีปริมาณผงมะขาม 3.75 กรัม น้ำตาลซูโครส 4.00 กรัม และโซเดียมคลอไรด์ 0.13 กรัม เท่ากันทุกสูตร แตกต่างกันที่สัดส่วนของสารก่อฟองคือโซเดียมไบคาร์บอเนตต่อกรดซิตริก ดังนี้ 0.13:0.10 0.26:0.20 0.39:0.30 0.52:0.40 ตามลำดับ

² รสชาติ แสดงในรูป ความเปรี้ยว + = เปรี้ยวน้อย ++ = เปรี้ยวปานกลาง +++ = เปรี้ยวมาก
 ความหวาน + = หวานน้อย ++ = หวานปานกลาง +++ = หวานมาก
 * ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง และค่าในวงเล็บแสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
^{abcd} เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง โดยอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกัน
 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากผลการประเมินพบว่าเครื่องดื่มมะขามผงฟูมีรสชาติเปรี้ยวหวาน เนื้อฟอง
 ละเอียด สีน้ำตาลอ่อน ฟองฟูขึ้นทันทีเมื่อเทลงเครื่องดื่มลงน้ำ ปริมาณฟอง 17-57
 มิลลิลิตร ระยะเวลาในการยุบตัวของฟองอยู่ระหว่าง 5 นาที 40 วินาที ถึง 17 นาที
 5 วินาที) โดยสูตรที่ 1 และ 2 ฟองจะค่อยๆยุบ ในช่วง 5-7 นาที ส่วนสูตรที่ 3 และ 4
 ฟองจะยุบช้า ในช่วง 12-17 นาที

4.4 การพัฒนาสูตรเครื่องดื่มมะขามผงฟูโดยปรับปรุงความหวานด้วยสารให้ความ หวานชนิดต่างๆ

เลือกสูตรเครื่องดื่มมะขามผงฟูที่ดีที่สุด จากข้อ 4.3 โดยจากผลการประเมิน
 พบว่าเครื่องดื่มมะขามผงฟูสูตรที่ 1 มีลักษณะดีที่สุดคือ รสชาติเปรี้ยวหวานตาม
 ลักษณะของน้ำมะขาม เนื้อฟองละเอียด ปริมาณฟองที่เกิดน้อยสุด และใช้ระยะเวลา
 ในการเกิดฟองจนกระทั่งฟองยุบตัวลงน้อยที่สุด นำมาปรับปรุงความหวานโดย
 ปรับเปลี่ยนชนิดและปริมาณของน้ำตาลต่างๆ ได้แก่ น้ำตาลซูโครส น้ำตาลฟรุกโตส
 และสารให้ความหวานสังเคราะห์ ดังต่อไปนี้

- 4.4.1 ใช้น้ำตาลฟรุกโตสเป็นสารให้ความหวาน พัฒนาได้ 3 สูตร (สูตรที่ 5-7)
- 4.4.2 ใช้สารให้ความหวานตราสังเคราะห์ พัฒนาได้ 3 สูตร (สูตรที่ 8-10)
- 4.4.3 ใช้น้ำตาลซูโครสผสมสารให้ความหวานตราสังเคราะห์ พัฒนาได้ 3 สูตร
 (สูตรที่ 11-13)

นำแต่ละสูตรเครื่องดื่มมาประเมินในด้านรสชาติ ลักษณะฟองที่เกิดขึ้น ปริมาณ
 ฟองที่เกิดขึ้นในช่วงแรกของการเกิดฟอง และเวลาในการยุบตัวของฟอง เช่นเดียวกับ
 ข้อ 4.3 แสดงผลในตาราง ที่ 11

ตารางที่ 11 รสชาติ ลักษณะฟอง ปริมาณฟอง และระยะเวลาในการยุบตัวของฟองของ เครื่องดื่มมะขามผงฟูสูตรที่ 5-13

สูตร ที่	รสชาติ		ลักษณะฟอง	ปริมาณฟอง (มล)*	ระยะเวลาในการ ยุบตัวของฟอง (นาที:วินาที)
	ความ เปรี้ยว	ความ หวาน			
5	+++	+	เนื้อฟองละเอียด สีน้ำตาลอ่อน ฟองฟูขึ้นทันทีเมื่อเทลงน้ำ ฟองค่อยๆ ยุบ	16(1) ^a	5:40 ^a
6	++	++	เนื้อฟองละเอียด สีน้ำตาลอ่อน ฟองฟูขึ้นทันทีเมื่อเทลงน้ำ ฟองค่อยๆ ยุบ	17(1) ^a	5:13 ^a
7	++	+++	เนื้อฟองละเอียด สีน้ำตาลอ่อน ฟองฟูขึ้นทันทีเมื่อเทลงน้ำ ฟองค่อยๆ ยุบ	17(2) ^a	5:40 ^a
8	+++	+	เนื้อฟองละเอียด สีน้ำตาลอ่อน ฟองฟูขึ้นทันทีเมื่อเทลงน้ำ ฟองค่อยๆ ยุบ	17(3) ^a	5:42 ^a
9	++	++	เนื้อฟองละเอียด สีน้ำตาลอ่อน ฟองฟูขึ้นทันทีเมื่อเทลงน้ำ ฟองค่อยๆ ยุบ	17(1) ^a	5:07 ^a
10	++	+++	เนื้อฟองละเอียด สีน้ำตาลอ่อน ฟองฟูขึ้นทันทีเมื่อเทลงน้ำ ฟองค่อยๆ ยุบ	18(3) ^a	5:47 ^a
11	+++	+	เนื้อฟองละเอียด สีน้ำตาลอ่อน ฟองฟูขึ้นทันทีเมื่อเทลงน้ำ ฟองค่อยๆ ยุบ	17(3) ^a	5:23 ^a
12	++	++	เนื้อฟองละเอียด สีน้ำตาลอ่อน ฟองฟูขึ้นทันทีเมื่อเทลงน้ำ ฟองค่อยๆ ยุบ	16(1) ^a	5:18 ^a
13	++	+++	เนื้อฟองละเอียด สีน้ำตาลอ่อน ฟองฟูขึ้นทันทีเมื่อเทลงน้ำ ฟองค่อยๆ ยุบ	18(1) ^a	5:37 ^a

¹ทุกสูตรมีปริมาณผงมะขาม 3.75 กรัม โซเดียมไบคาร์บอเนต 0.13 กรัม กรดซิตริก 0.10 กรัม และโซเดียมคลอไรด์ 0.13 กรัม เท่ากันทุกสูตร แตกต่างกันที่สารให้ความหวาน โดยสูตรที่ 5-7 ใช้ น้ำตาลฟรุคโตส สูตรที่ 8-10 ใช้ สารให้ความหวานตราสวิซซี่ สูตรที่ 11-13 ใช้ น้ำตาลซูโครสผสม สารให้ความหวานตราสวิซซี่

² รสชาติ แสดงในรูป ความเปรี้ยว + = เปรี้ยวน้อย ++ = เปรี้ยวปานกลาง +++ = เปรี้ยวมาก

ความหวาน + = หวานน้อย ++ = หวานปานกลาง +++ = หวานมาก

* ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง และค่าในวงเล็บแสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{abcd} เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง โดยอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.5 คัดเลือกสูตรเครื่องตีมะขามผงฟูที่เป็นตัวแทนของสูตรเครื่องตีที่เตรียมจากสารให้ความหวานแต่ละชนิด

ตัวแทนของสูตรเครื่องตีมะขามผงฟูที่มีสารให้ความหวานเป็นน้ำตาลซูโครส 2 สูตร ได้แก่ เครื่องตีสูตรที่ 1 และ 2 เนื่องจากทั้งสองสูตรใช้ระยะเวลาในการยบตัวของฟอง และปริมาณฟองน้อยกว่าสูตรที่ 3 และ 4 โดยสูตรที่ 1 ใช้ระยะเวลาในการยบตัวของฟองน้อยที่สุด 340 วินาที หรือ 5 นาที 40 วินาที ส่วนสูตรที่ 2 ใช้ระยะเวลาในการยบตัวของฟองน้อยเป็นลำดับที่ 2 คือ 437 วินาที หรือ 7 นาที 17 วินาที ส่วนสูตรที่ 3 และ 4 ใช้ระยะเวลาในการยบตัวของฟองมากกว่า 10 นาที ในด้านปริมาณฟองเลือกสูตรที่ 1 และ 2 เป็นตัวแทนของสูตรฟองน้อยและสูตรฟองมากตามลำดับ เพื่อใช้เปรียบเทียบความชอบของผู้ชิมชอบเครื่องตีแบบมีฟองมากหรือน้อยต่อไป ในด้านรสชาติและลักษณะฟองทั้งสูตรที่ 1-4 มีลักษณะไม่แตกต่างกันคือ เครื่องตีมีรสชาติเปรี้ยวหวานและเนื้อฟองละเอียด สีน้ำตาลอ่อน ฟองฟูขึ้นทันทีเมื่อเทลงน้ำ

เลือกตัวแทนของสูตรเครื่องตีมะขามผงฟูที่มีสารให้ความหวานเป็นน้ำตาลฟรุกโตส 1 สูตร ได้แก่ เครื่องตีสูตรที่ 6 เนื่องจากมีรสชาติดีกว่าคือสูตรที่ 5 ซึ่งมีรสชาติเปรี้ยวมากเกินไปและสูตรที่ 7 ซึ่งมีรสชาติหวานมากเกินไป ในส่วนลักษณะฟอง ปริมาณฟอง และเวลาในการเกิด/ยบของฟอง ทั้งสูตรที่ 5-7 มีลักษณะไม่แตกต่างกันคือ เนื้อฟองละเอียด สีน้ำตาลอ่อน ฟองฟูขึ้นทันทีเมื่อเทลงน้ำ ปริมาณฟอง 16-17 มิลลิลิตร ระยะเวลาในการยบตัวของฟองใกล้เคียงกัน

เลือกตัวแทนของสูตรเครื่องตีมะขามผงฟูที่มีสารให้ความหวานตราสวีทซี 1 สูตร ได้แก่ เครื่องตีสูตรที่ 9 เนื่องจากมีรสชาติดีกว่าคือสูตรที่ 8 ซึ่งมีรสชาติเปรี้ยวมากเกินไปและสูตรที่ 10 ซึ่งมีรสชาติหวานมากเกินไป ในส่วนลักษณะฟอง ปริมาณฟอง และระยะเวลาในการยบตัวของฟอง ทั้งสูตรที่ 8-10 มีลักษณะไม่แตกต่างกันคือ เนื้อฟองละเอียด สีน้ำตาลอ่อน ฟองฟูขึ้นทันทีเมื่อเทลงน้ำ ปริมาณฟอง 16-18 มิลลิลิตร ระยะเวลาในการยบตัวของฟองใกล้เคียงกัน

เลือกตัวแทนของสูตรเครื่องตีมะขามผงฟูที่มีสารให้ความหวานเป็นน้ำตาลซูโครสผสมสารให้ความหวานตราสวีทซี 1 สูตร ได้แก่ เครื่องตีสูตรที่ 12 เนื่องจากมีรสชาติดีกว่าคือสูตรที่ 11 ซึ่งมีรสชาติเปรี้ยวมากเกินไปและสูตรที่ 13 ซึ่งมีรสชาติหวาน

มากขึ้นไป ในลักษณะฟอง ปริมาณฟอง และระยะเวลาในการยุบตัวของฟอง ทั้งสูตรที่ 11-13 มีลักษณะไม่แตกต่างกันคือ เนื้อฟองละเอียด สีน้ำตาลอ่อนฟองฟูขึ้นทันทีเมื่อเทลงน้ำ ปริมาณฟอง 16-17 มิลลิลิตร เวลาในการเกิด/ยุบของฟองใกล้เคียงกัน

4.6 คุณสมบัติทางภาพภาพและเคมีของสูตรเครื่องดื่มที่ถูกคัดเลือก 5 สูตร

นำเครื่องดื่มมะขามผงฟูที่เป็นตัวแทนของสูตรเครื่องดื่มมะขามผงฟูที่มีสารให้ความหวานแต่ละชนิดรวมทั้งหมด 5 สูตร นำมาประเมินในด้านสีของผงเครื่องดื่ม สีของเครื่องดื่มเมื่อละลายน้ำ ลักษณะผงเครื่องดื่ม กลิ่น แสดงผลในตารางที่ 12 ความเป็นกรดต่าง ปริมาณความชื้น ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด แสดงผลในตารางที่ 13 และการละลายน้ำ แสดงผลในตารางที่ 14

ตารางที่ 12 สี ค่าสี ของผงเครื่องดื่มและเครื่องดื่มมะขามผงฟูเมื่อละลายน้ำ ลักษณะผงเครื่องดื่ม และกลิ่นของเครื่องดื่มมะขามผงฟู

สูตรที่ ¹	ผงเครื่องดื่ม				เครื่องดื่มมะขามผงฟู				ลักษณะผงเครื่องดื่ม	กลิ่นของเครื่องดื่ม
	สี	ค่าสี*			สี	ค่าสี				
		L*	a*	b*		L*	a*	b*		
1	สีน้ำตาลอ่อน	81.74 (0.27)	+2.78 (0.04)	+11.73 (0.03)	สีน้ำตาล ใส	84.35 (0.01)	+1.04 (0.01)	+33.99 (0.01)	ผงละเอียด ร่วน ไม่เกาะตัวเป็นก้อน	กลิ่นหอมมะขาม
2	สีน้ำตาลอ่อน	83.18 (0.10)	+2.69 (0.02)	+11.65 (0.01)	สีน้ำตาล ใส	78.43 (0.05)	+3.14 (0.03)	+38.05 (0.01)	ผงละเอียด ร่วน ไม่เกาะตัวเป็นก้อน	กลิ่นหอมมะขาม
6	สีน้ำตาลอ่อน	79.49 (0.09)	+2.68 (0.04)	+11.39 (0.03)	สีน้ำตาล ใส	84.18 (0.03)	+1.10 (0.02)	+34.21 (0.05)	ผงละเอียด เกาะเป็นก้อนบางส่วน	กลิ่นหอมมะขาม
9	สีน้ำตาล	75.81 (0.03)	+4.69 (0.04)	+17.14 (0.03)	สีน้ำตาล ใส	79.37 (0.02)	+2.29 (0.02)	+35.29 (0.01)	ผงขนาดใหญ่ เกาะกันเป็นก้อน ชั้นสูง	กลิ่นหอมมะขาม
12	สีน้ำตาลอ่อน	81.65 (0.04)	+2.85 (0.04)	+11.83 (0.04)	สีน้ำตาล ใส	80.94 (0.06)	+2.14 (0.15)	+36.00 (0.01)	ผงละเอียด ร่วน ไม่เกาะตัวเป็นก้อน	กลิ่นหอมมะขาม

¹ สูตรที่ 1 และ 2 เป็นตัวแทนของเครื่องดื่มที่ใช้น้ำตาลซูโครส สูตรที่ 6 เป็นตัวแทนของเครื่องดื่มที่ใช้น้ำตาลฟรุกโตส สูตรที่ 9 เป็นตัวแทนของเครื่องดื่มที่ใช้สารให้ความหวานตราสวิซี สูตรที่ 12 ตัวแทนของเครื่องดื่มที่ใช้น้ำตาลซูโครสผสมสารให้ความหวานสวิซี

*ค่าเฉลี่ยได้จากการวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง และค่าในวงเล็บแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 13 ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณความชื้น และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของ เครื่องดื่มมะขามผงฟู

สูตรที่	ปริมาณความชื้น	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)
1	2.69 (0.03) ^a	2.979 (0.005) ^a	17.3 (0.6) ^a
2	2.66 (0.06) ^a	3.189 (0.011) ^b	18.7 (0.6) ^a
6	2.90 (0.03) ^b	2.977 (0.006) ^a	9.0 (1.0) ^b
9	3.46 (0.05) ^c	2.979 (0.011) ^a	1.3 (0.6) ^c
12	2.74 (0.05) ^a	2.976 (0.010) ^a	12.7 (1.2) ^d

¹ สูตรที่ 1 และ 2 เป็นตัวแทนของเครื่องดื่มที่ใช้น้ำตาลซูโครส สูตรที่ 6 เป็นตัวแทนของเครื่องดื่มที่ใช้น้ำตาลฟรุกโตส สูตรที่ 9 เป็นตัวแทนของเครื่องดื่มที่ใช้สารให้ความหวานตราสวิซซี่ สูตรที่ 12 เป็นตัวแทนของเครื่องดื่มที่ใช้น้ำตาลซูโครสผสมสารให้ความหวานสวิซซี่

* ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง ค่าในวงเล็บแสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{abcd} เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามแนวดิ่ง โดยอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 14 ร้อยละของปริมาณของแข็งที่ไม่ละลาย (% insoluble solid) และ เวลาในการละลายของ เครื่องดื่มมะขามผงฟู

สูตรที่	ร้อยละของปริมาณของแข็ง ที่ไม่ละลาย (% insoluble solid)	เวลาในการละลาย(วินาที)	
		น้ำที่อุณหภูมิห้อง	น้ำที่อุณหภูมิ 80°C
1	0.6987 (0.0190) ^a	170 (26) ^a	137 (13) ^a
2	0.8887 (0.0289) ^b	167 (8) ^b	129 (7) ^a
6	0.7627 (0.0247) ^{cd}	163 (10) ^b	168 (8) ^b
9	0.7990 (0.0191) ^d	197 (8) ^c	163 (13) ^b
12	0.7353 (0.0151) ^{ac}	175 (5) ^b	148 (3) ^a

¹ สูตรที่ 1 และ 2 เป็นตัวแทนของเครื่องดื่มที่ใช้น้ำตาลซูโครส สูตรที่ 6 เป็นตัวแทนของเครื่องดื่มที่ใช้น้ำตาลฟรุกโตส สูตรที่ 9 เป็นตัวแทนของเครื่องดื่มที่ใช้สารให้ความหวานตราสวิซซี่ สูตรที่ 12 เป็นตัวแทนของเครื่องดื่มที่ใช้น้ำตาลซูโครสผสมสารให้ความหวานสวิซซี่

* ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง ค่าในวงเล็บแสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{abc} เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง โดยอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.7 ความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์เครื่องต้มมะขามผงฟู

นำเครื่องต้มมะขามผงฟูทั้ง 5 สูตร ซึ่งเป็นตัวแทนของเครื่องต้มมะขามผงฟูที่เตรียมจากสารให้ความหวานแต่ละชนิด ได้แก่ น้ำตาลซูโครส (สูตรที่ 1 และ 2) น้ำตาลฟรุกโตส (สูตรที่ 6) สารให้ความหวานตราสวิซซี่ (สูตรที่ 9) และน้ำตาลซูโครสผสมสารให้ความหวานสวิซซี่ (สูตรที่ 12) มาประเมินความพึงพอใจใช้วิธีให้คะแนนความยอมรับของผลิตภัณฑ์ในด้านต่างๆโดยผู้ประเมินกึ่งฝึกฝน 10 ราย ให้คะแนนความชอบต่อรสชาติของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่ 1-5 โดยคะแนน 1 = ไม่ชอบมากที่สุด และคะแนน 5 = ชอบมากที่สุด ผลการประเมินแสดงในตารางที่ 15

4.7.1 สีและลักษณะที่ปรากฏให้เห็นภายนอกของผงเครื่องต้ม

คะแนนความชอบต่อสีและลักษณะที่ปรากฏให้เห็นภายนอกของผงเครื่องต้มสูตรที่เตรียมโดยใช้น้ำตาลซูโครสและสูตรที่เตรียมโดยใช้น้ำตาลฟรุกโตสผสมสารให้ความหวานสวิซซี่มีค่ามากกว่าสูตรที่เตรียมจากน้ำตาลฟรุกโตส และสารให้ความหวานสวิซซี่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.7.2 สีและลักษณะที่ปรากฏให้เห็นภายนอกของผงเครื่องต้มเมื่อละลายน้ำ

คะแนนความชอบต่อสีและลักษณะที่ปรากฏให้เห็นภายนอกของเครื่องต้มเมื่อละลายน้ำแล้วของสูตรที่เตรียมจากน้ำตาลซูโครส (สูตรที่ 2) ได้คะแนนมากที่สุด แต่ในทางสถิติพบว่าไม่มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.7.3 กลิ่นของเครื่องต้ม

คะแนนความชอบต่อกลิ่นของเครื่องต้มที่เตรียมจากน้ำตาลซูโครส (สูตรที่ 2) ได้รับคะแนนความชอบมากที่สุด แต่ในทางสถิติคะแนนไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากสูตรที่เตรียมจากน้ำตาลฟรุกโตส ส่วนสูตรที่เตรียมจากสารให้ความหวานสวิซซี่ได้รับคะแนนความชอบน้อยที่สุด

4.7.4 รสชาติของเครื่องดื่ม

คะแนนความชอบต่อรสชาติของเครื่องดื่มที่เตรียมจากน้ำตาลซูโครส (สูตรที่ 2) ได้รับคะแนนความชอบมากที่สุด แต่ในทางสถิติคะแนนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากสูตรที่เตรียมจากน้ำตาลซูโครส (สูตรที่ 1) ซึ่งมีปริมาณฟองน้อยกว่าสูตรที่ 2 ส่วนสูตรที่เตรียมจากสารให้ความหวานสังเคราะห์ได้รับคะแนนความชอบน้อยที่สุด

4.7.5 ลักษณะการเกิดฟอง

คะแนนความชอบต่อลักษณะการเกิดฟองของเครื่องดื่มที่เตรียมจากน้ำตาลซูโครสทั้งสูตรที่ 1 (ฟองน้อย) และสูตรที่ 2 (ฟองมาก) ได้รับคะแนนความชอบเท่ากัน ซึ่งมากกว่าสูตรอื่นๆ ส่วนสูตรที่เตรียมจากสารให้ความหวานสังเคราะห์ได้รับคะแนนความชอบน้อยที่สุด

4.7.6 ความชอบโดยรวม

คะแนนความชอบโดยรวมของเครื่องดื่มที่เตรียมจากน้ำตาลซูโครสสูตรที่ 2 ได้รับคะแนนความชอบมากที่สุด แต่ในทางสถิติคะแนนความชอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากสูตรที่เตรียมจากน้ำตาลซูโครสสูตรที่ 1 ส่วนสูตรที่เตรียมจากสารให้ความหวานสังเคราะห์ได้รับคะแนนความชอบน้อยที่สุด

ตารางที่ 15 คะแนนเฉลี่ยความชอบในด้านต่างๆที่ผู้ชิมให้แก่เครื่องดื่มมะขามผงฟู

ค่าเฉลี่ยของคะแนนความชอบ	สูตรเครื่องดื่ม				
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 6	สูตรที่ 9	สูตรที่ 12
สีและลักษณะของผงเครื่องดื่ม	4.00 (1.16) ^a	3.80 (0.63) ^a	2.20 (1.03) ^b	1.40 (0.69) ^b	3.40 (1.35) ^a
สีและลักษณะของเครื่องดื่มที่ละลายน้ำ	3.60 (0.97) ^a	4.00 (0.94) ^a	3.50 (1.27) ^a	3.50 (1.27) ^a	3.20 (1.23) ^a
กลิ่นของเครื่องดื่ม	3.50 (0.71) ^{ab}	4.20 (0.92) ^a	3.50 (1.08) ^{ab}	2.30 (0.95) ^c	3.10 (1.29) ^{bc}
รสชาติของเครื่องดื่ม	3.80 (0.63) ^{ab}	4.30 (1.25) ^a	2.50 (1.27) ^c	2.20 (1.55) ^c	2.90 (1.45) ^{bc}
ลักษณะการเกิดฟอง	3.60 (1.17) ^a	3.60 (1.43) ^a	2.70 (0.95) ^{ab}	2.30 (1.16) ^b	2.80 (0.92) ^{ab}
ความชอบโดยรวม	3.60 (1.35) ^{ab}	4.30 (1.06) ^a	2.60 (0.84) ^b	1.50 (1.08) ^c	3.00 (1.16) ^b

* คะแนนความชอบจัดลำดับจาก 1-5 ตั้งแต่คะแนนไม่ชอบมากที่สุดถึงชอบมากที่สุด ค่าในวงเล็บ แสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{abc} เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของคะแนนตามแนวนอน โดยอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.8 การศึกษาความคงตัวของเครื่องตีมะขามผงฟู

เลือกเครื่องตีมะขามผงฟูที่มีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่ดีที่สุดโดยจากการประเมินพบว่าสูตรเครื่องตีมะขามผงฟูสูตรที่ 1 และ 2 มีลักษณะผงร่วน ละเอียด ไม่เกาะเป็นก้อน กลิ่นหอมมะขาม โดยสูตรที่ 2 แม้จะมีค่าการละลายในรูปปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายมากที่สุดแต่ระยะเวลาในการละลายน้อยที่สุด แต่จากการประเมินความพึงพอใจพบว่า เครื่องตีมะขามผงฟูสูตรที่ 2 ได้รับความชอบมากที่สุด จึงคัดเลือกเครื่องตีมะขามผงฟูสูตรที่ 2 เพื่อศึกษาความคงตัวของผลิตภัณฑ์เมื่อเก็บเครื่องตีมะขามผงฟูที่เก็บไว้อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 0 7 15 และ 30 วัน โดยประเมินคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี ได้แก่ สีของผงเครื่องตีมะขาม ลักษณะของผงเครื่องตีมะขาม กลิ่น ปริมาณความชื้น ความเป็นกรดต่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณกรดทาร์ทาริก แสดงผลในตารางที่ 16 และ 17 ส่วนผลการประเมินด้านจุลชีววิทยาไม่พบแบคทีเรียชนิดโคลิฟอร์ม *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* ส่วนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดชนิดมีโซไฟล์ ยีสต์และรา มีน้อยกว่า 10 cfu/g ผลดังตารางที่ 18 และ 19

ตารางที่ 16 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของเครื่องดื่มนมมะขามผงฟูสูตรที่ 2 เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ณ วันเริ่มต้น 7 15 และ 30 วัน *

เวลา	สีของผงเครื่องดื่มนม				ลักษณะผง	กลิ่น	ความชื้น	pH	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°brix)	ปริมาณกรดทาร์ทาริกในเครื่องดื่มนม 1 กรัม (มิลลิกรัม)
	จากการสังเกต	ค่าสี								
		L	a	b						
วันเริ่มต้น	สีน้ำตาล	83.18	2.69	11.65	ผงละเอียดร่วนดี	กลิ่นหอม	2.66 ^a	3.189 ^a	18.7 ^a	67.7 ^a
	ช้อน	(0.10)	(0.02)	(0.01)	ไม่เกาะเป็นก้อน	มะขาม	(0.06)	(0.011)	(0.6)	(0.1)
วันที่ 7	สีน้ำตาล	80.92	3.49	12.15	ผงละเอียดร่วนดี	กลิ่นหอม	2.82 ^b	3.211 ^b	18.8 ^a	67.4 ^b
	ช้อน	(0.04)	(0.01)	(0.01)	ไม่เกาะเป็นก้อน	มะขาม	(0.04)	(0.007)	(0.3)	(0.1)
วันที่ 15	สีน้ำตาล	77.86	3.95	13.12	ผงละเอียด	กลิ่นหอม	2.96 ^c	3.213 ^b	18.5 ^a	67.5 ^{ab}
		(0.04)	(0.03)	(0.03)	บางส่วนเกาะเป็นก้อน	มะขาม	(0.27)	(0.007)	(0.5)	(0.2)
วันที่ 30	สีน้ำตาล	75.94	4.43	13.34	ผงละเอียด	กลิ่นหอม	3.30 ^d	3.31 ^c	18.2 ^a	66.9 ^c
		(0.02)	(0.04)	(0.01)	บางส่วนเกาะเป็นก้อน	มะขาม	(0.05)	(0.012)	(0.3)	(0.1)

* ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง และค่าในวงเล็บคือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{abcd} เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง โดยอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 17 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของเครื่องดื่มมะขามผงฟูสูตรที่ 2 เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียส ณ วันเริ่มต้น 7 15 และ 30 วัน

เวลา	สีของผงเครื่องดื่ม				ลักษณะผง	กลิ่น	ความชื้น	pH	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°brix)	ปริมาณกรดทาร์ทาริกในเครื่องดื่มผง 1 กรัม (มิลลิกรัม)
	จากการสังเกต	ค่าสี								
		L	a	b						
วันเริ่มต้น	สีน้ำตาล	83.18	2.69	11.65	ผงละเอียดร่วนดี	กลิ่นหอม	2.66 ^a	3.189 ^a	18.7 ^a	67.7 ^a
	อ่อน	(0.10)	(0.02)	(0.01)	ไม่เกาะเป็นก้อน	มะขาม	(0.06)	(0.011)	(0.6)	(0.1)
วันที่ 7	สีน้ำตาล	82.45	2.88	12.55	ผงละเอียดร่วนดี	กลิ่นหอม	2.74 ^a	3.155 ^b	18.7 ^a	67.3 ^b
	อ่อน	(0.37)	(0.03)	(0.02)	ไม่เกาะเป็นก้อน	มะขาม	(0.06)	(0.009)	(0.3)	(0.2)
วันที่ 15	สีน้ำตาลอ่อน	81.94	3.28	12.45	ผงละเอียดร่วนดี	กลิ่นหอม	2.87 ^b	3.186 ^a	18.2 ^a	66.6 ^c
		(0.10)	(0.03)	(0.02)	ไม่เกาะเป็นก้อน	มะขาม	(0.07)	(0.009)	(0.3)	(0.2)
วันที่ 30	สีน้ำตาลอ่อน	80.73	3.31	12.26	ผงละเอียด บางส่วน	กลิ่นหอม	3.09 ^c	3.203 ^a	18.3 ^a	66.9 ^{bc}
		(0.03)	(0.02)	(0.02)	เกาะเป็นก้อน	มะขาม	(0.04)	(0.006)	(0.6)	(0.3)

* ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง และค่าในวงเล็บคือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{abc} เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง โดยอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์ด้านจุลชีววิทยาของเครื่องดื่มมะขามผงฟู เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ที่ระยะเวลาต่างๆ

การวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา	ระยะเวลาที่เก็บตัวอย่างไว้ ณ อุณหภูมิห้อง			
	เริ่มต้น	7 วัน	15 วัน	30 วัน
จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดชนิดมีไซไฟล์ (cfu /g) ¹	< 10	< 10	<10	<10
จำนวนยีสต์และรา (cfu /g) ¹	< 10	< 10	< 10	< 10
จำนวนโคลิฟอร์มทั้งหมด (MPN /g) ²	< 2	< 2	< 2	< 2
จำนวน <i>E.coli</i>	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ
จำนวน <i>S.aureus</i> (cfu /g) ¹	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ

¹ cfu / g = colony forming unit ต่อเครื่องดื่มมะขามผงฟู 1 กรัม

² MPN / g = Most Probable Number ต่อเครื่องดื่มมะขามผงฟู 1 กรัม

ตารางที่ 19 ผลการวิเคราะห์ด้านจุลชีววิทยาของเครื่องดื่มมะขามผงฟู เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาต่างๆ

การวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา	ระยะเวลาที่เก็บตัวอย่างไว้ ณ อุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียส			
	เริ่มต้น	7 วัน	15 วัน	30 วัน
จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดชนิดมีไซไฟล์ (cfu /g) ¹	< 10	< 10	< 10	< 10
จำนวนยีสต์และรา (cfu /g) ¹	< 10	< 10	< 10	< 10
จำนวนโคลิฟอร์มทั้งหมด (MPN /g) ²	< 2	< 2	< 2	< 2
จำนวน <i>E.coli</i>	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ
จำนวน <i>S.aureus</i> (cfu /g) ¹	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ

¹ cfu / g = colony forming unit ต่อเครื่องดื่มมะขามผงฟู 1 กรัม

² MPN / g = Most Probable Number ต่อเครื่องดื่มมะขามผงฟู 1 กรัม

5 .การพัฒนาเยลลี่จากผงมะขามที่ได้จากการพ่นแห้ง

5.1 สัดส่วนที่เหมาะสมของ น้ำตาลซูโครส ผงมะขาม และเพกติน

พัฒนาเยลลี่ โดยศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของ น้ำตาลซูโครสร้อยละ 35-45 ผงมะขามร้อยละ 3-9 และเพกตินร้อยละ 0.8-1.2 โดยน้ำหนัก วางแผนการทดลองแบบ symmetric factorial design ขนาด $3 \times 3 \times 3$ จำนวนการทดลอง ทดลอง 2 ซ้ำ

5.2 ขั้นตอนการเตรียมเยลลี่

เตรียมเยลลี่ตามสัดส่วนต่างๆ ของน้ำตาลซูโครส ผงมะขาม และเพกติน ได้ทั้งหมด 27 สูตร บรรจุใส่ภาชนะ ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 ชั่วโมง

5.3 การเกิดเจลของเยลลี่

ประเมินการเกิดเจลของเยลลี่ โดยสังเกตจากการแข็งตัวของเยลลี่ที่เตรียมได้ พบว่าเยลลี่ทั้งหมด 27 สูตร สามารถเกิดเจลได้ 13 สูตร ได้แก่ สูตรที่ 7 8 10 13 14 16 17 19 20 22 23 25 และ 26 ผลดังตารางที่ 20

ตารางที่ 20 ผลการเกิดเจลของเยลลี่

สูตรที่	ส่วนประกอบในสูตรเยลลี่			การเกิดเจล*
	ร้อยละของน้ำตาลซูโครส	ร้อยละของเพกติน	ร้อยละของผงมะขาม	
1	35	0.8	3	N
2	35	0.8	6	N
3	35	0.8	9	N
4	35	1.0	3	N
5	35	1.0	6	N
6	35	1.0	9	N
7	35	1.2	3	G
8	35	1.2	6	G
9	35	1.2	9	N
10	40	0.8	3	G
11	40	0.8	6	N
12	40	0.8	9	N
13	40	1.0	3	G
14	40	1.0	6	G
15	40	1.0	9	N
16	40	1.2	3	G
17	40	1.2	6	G
18	40	1.2	9	N
19	45	0.8	3	G
20	45	0.8	6	G
21	45	0.8	9	N
22	45	1.0	3	G
23	45	1.0	6	G
24	45	1.0	9	N
25	45	1.2	3	G
26	45	1.2	6	G
27	45	1.2	9	N

*การเกิดเจล : N = ไม่เกิดเจล G = เกิดเจล

5.4 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีเฉพาะสูตรเกลือที่เกิดเจล

นำเกลือทั้ง 13 สูตรมาประเมินคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ได้แก่ ลักษณะที่ปรากฏ ได้แก่ สี ความใส การไหลตัว ความคงตัว รอยตัดด้วยข้อัน แสดงผลในตารางที่ 21 วัดความเป็นกรดต่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และความแข็งของเกลือ แสดงผลในตารางที่ 22

ตารางที่ 21 ลักษณะที่ปรากฏ การไหลตัว และความคงตัว และรอยตัดของสูตรเกลือที่เกิดเจล

สูตรที่ ¹	สี	ความใส	การไหลตัว ความคงตัว	รอยตัดด้วยข้อัน
7	สีน้ำตาลเข้ม	ใสเป็นประกาย	ไหลตัวน้อย คงตัวดีที่อุณหภูมิห้อง	รอยตัดเรียบ คงรูป ไม่เหนียวติดข้อัน
8	สีน้ำตาลเข้ม	ใสเป็นประกาย	ไหลตัวน้อย คงตัวดีที่อุณหภูมิห้อง	รอยตัดเรียบ คงรูป ไม่เหนียวติดข้อัน
10	สีน้ำตาลเข้ม	ใสเป็นประกาย	ไหลตัวดี ไม่คงตัวที่อุณหภูมิห้อง	รอยตัดเรียบ ไม่คงรูป เหนียวติดข้อันเล็กน้อย
13	สีน้ำตาลเข้ม	ใสเป็นประกาย	ไหลตัวน้อย คงตัวดีที่อุณหภูมิห้อง	รอยตัดเรียบ คงรูป ไม่เหนียวติดข้อัน
14	สีน้ำตาลเข้ม	ใสเป็นประกาย	ไหลตัวน้อย คงตัวดีที่อุณหภูมิห้อง	รอยตัดเรียบ คงรูป ไม่เหนียวติดข้อัน
16	สีน้ำตาลเข้ม	ใสเป็นประกาย	ไม่ไหลตัว คงตัวดีที่อุณหภูมิห้อง	รอยตัดเรียบ คงรูป ไม่เหนียวติดข้อัน
17	สีน้ำตาลเข้ม	ใสเป็นประกาย	ไม่ไหลตัว คงตัวดีที่อุณหภูมิห้อง	รอยตัดเรียบ คงรูป ไม่เหนียวติดข้อัน
19	สีน้ำตาลเข้ม	ใสเป็นประกาย	ไม่ไหลตัว คงตัวดีที่อุณหภูมิห้อง	รอยตัดเรียบ คงรูป ไม่เหนียวติดข้อัน
20	สีน้ำตาลเข้ม	ใสเป็นประกาย	ไม่ไหลตัว คงตัวดีที่อุณหภูมิห้อง	รอยตัดเรียบ คงรูป ไม่เหนียวติดข้อัน
22	สีน้ำตาลเข้ม	ใสเป็นประกาย	ไม่ไหลตัว คงตัวดีที่อุณหภูมิห้อง	รอยตัดเรียบ คงรูป ไม่เหนียวติดข้อัน
23	สีน้ำตาลเข้ม	ใสเป็นประกาย	ไม่ไหลตัว คงตัวดีที่อุณหภูมิห้อง	รอยตัดเรียบ คงรูป ไม่เหนียวติดข้อัน
25	สีน้ำตาลเข้ม	ใสเป็นประกาย	ไม่ไหลตัว คงตัวดีที่อุณหภูมิห้อง	รอยตัดเรียบ คงรูป ไม่เหนียวติดข้อัน
26	สีน้ำตาลเข้ม	ใสเป็นประกาย	ไม่ไหลตัว คงตัวดีที่อุณหภูมิห้อง	รอยตัดเรียบ คงรูป ไม่เหนียวติดข้อัน

¹สูตรที่ 7-8 เตรียมจากน้ำตาลซูโครสร้อยละ 35 สูตรที่ 10-17 เตรียมจากน้ำตาลซูโครสร้อยละ 40 และ สูตรที่ 19-26 เตรียมจากน้ำตาลซูโครสร้อยละ 45

ตารางที่ 22 ความเป็นกรดต่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และความแข็งของ สูตรเยลลี่ที่เกิดเจล

สูตรที่ ¹	ความเป็นกรดต่าง* (pH)	ปริมาณของแข็งที่ ละลายได้ทั้งหมด * (องศาบริกซ์)	ความแข็ง* (กรัมแรง)
7	2.883 (0.009) ^a	50.2 (0.3) ^a	2184.50 (6.79) ^{ac}
8	2.395 (0.009) ^b	50.7 (0.3) ^a	2192.33 (6.72) ^{ac}
10	2.818 (0.010) ^c	54.2 (0.3) ^b	1697.50(114.51) ^b
13	2.798 (0.012) ^c	54.5 (0.5) ^{bc}	2156.50 (10.77) ^a
14	2.354 (0.007) ^b	55.0 (0.0) ^{bc}	2164.43 (8.60) ^a
16	2.703 (0.073) ^d	54.7 (0.6) ^{bc}	2193.27 (9.10) ^{ac}
17	2.368 (0.006) ^b	55.2 (0.3) ^c	2207.97 (12.01) ^{ac}
19	2.546 (0.010) ^e	58.7 (0.6) ^d	2217.73 (8.06) ^{ac}
20	2.284 (0.017) ^{fg}	60.0 (1.0) ^e	2228.73 (2.91) ^{cd}
22	2.588 (0.008) ^e	60.2 (0.3) ^e	2277.17 (9.70) ^{de}
23	2.303 (0.012) ^f	60.8 (0.3) ^{ef}	2290.90 (3.66) ^e
25	2.487 (0.006) ^h	60.2 (0.3) ^e	2293.17 (5.76) ^e
26	2.253 ± (0.056) ^g	61.2 ± 0.8 ^f	2308.97 ± 11.62 ^e

¹สูตรที่ 7-8 เตรียมจากน้ำตาลซูโครสร้อยละ 35 สูตรที่ 10-17 เตรียมจากน้ำตาลซูโครสร้อยละ 40 และ สูตรที่ 19-26 เตรียมจากน้ำตาลซูโครสร้อยละ 45

* ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง และค่าในวงเล็บแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{abcdefgh} เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง โดยอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากผลการประเมินพบว่าเยลลี่ส่วนใหญ่มีสีใสเป็นประกาย คงตัวดีที่อุณหภูมิห้อง รอยตัดเรียบ คงรูป ไม่เหนียวติดช้อน ความเป็นกรดต่างของสูตรเยลลี่ที่สามารถเกิดเจลได้อยู่ระหว่าง 2.253 – 2.883 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของ

สูตรเกลือที่สามารถเกิดเจลได้อยู่ระหว่าง 50.5 – 61.2 องศาบริกซ์ ความแข็งของสูตรเกลือที่สามารถเกิดเจลได้อยู่ระหว่าง 1697.50 – 2308.97 กรัม โดยจะพบว่าเกลือสูตรที่ 10 เนื้อเกลือจะนิ่มที่สุดโดยมีความแข็งน้อยที่สุดคือ 1697.50 กรัม แต่เนื่องจากเนื้อเกลือจะมีลักษณะเป็นน้ำไหลเยิ้มบางส่วนเมื่อตั้งทิ้งไว้ ไม่คงตัว ไม่เหมาะสำหรับนำมาปรับปรุงต่อ จึงมาพิจารณาสูตรเกลือที่มีความนิ่มรองลงมาได้แก่สูตรที่ 13 14 7 8 16 17 และ 19 เรียงลำดับความแข็งของ เกลือจากน้อยไปหามาก แต่ในทางสถิติพบว่าแต่ละสูตรมีความแข็งไม่แตกต่างกันมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยสูตรที่ 13 มีความแข็งน้อยกว่าสูตรอื่นๆ แต่ใกล้เคียงกับความแข็งของสูตรที่ 14 แต่สูตรที่ 14 ใส่ผงมะขามร้อยละ 6 ซึ่งมากกว่าสูตรที่ 13 จึงพิจารณาเลือกสูตรที่ 14 เป็นต้นแบบในการปรับปรุงสูตรต่อไป เนื่องจากมีปริมาณผงมะขามในสูตรส่วนประกอบมากกว่า ทำให้ได้ปริมาณของกรดทาร์ทาริกในเกลือมากกว่า

5.5 การพัฒนาสูตรเกลือโดยปรับปรุงความหวานด้วยน้ำตาลชนิดต่างๆ

เลือกสูตรเกลือที่ดีที่สุด โดยผลการทดลองพบว่าเกลือสูตรที่ 14 เหมาะสมที่สุดใน การเป็นเกลือต้นแบบในการปรับปรุงความหวานต่อไป โดยสูตรเกลือประกอบด้วยน้ำตาลซูโครสร้อยละ 40 เพคตินร้อยละ 1 และผงมะขามร้อยละ 6 เนื่องจากเกลือที่ได้มีสีและลักษณะปรากฏที่ดี ได้แก่ เนื้อเกลือเป็นสีน้ำตาลเข้ม ใสเป็นประกาย คงตัวดีที่อุณหภูมิห้อง รอยตัดเรียบคงรูป ไม่เหนียวติดช้อน มีความแข็งน้อย และใส่ผงมะขามมาก จึงนำสูตรเกลือดังกล่าวมาปรับปรุงความหวานโดยปรับสัดส่วนของน้ำตาลซูโครส และน้ำตาลฟรุคโตส เตรียมเกลือได้ทั้งหมด 5 สูตร และนำมาประเมินการเกิดเจลพบว่าเกลือทั้ง 5 สูตรได้แก่ สูตรที่ 28-32 สามารถเกิดเจลได้ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 ชั่วโมง ผลดังตารางที่ 23

ตารางที่ 23 ผลการเกิดเจลของเกลือที่ปรับปรุงความหวานโดยใช้น้ำตาลชนิดต่างๆ

สูตรที่	น้ำหนักของน้ำตาลซูโครส (กรัม)	น้ำหนักของน้ำตาลฟรุคโตส(กรัม)	การเกิดเจล*
28	-	20	G
29	-	24	G
30	-	28	G
31	10	15	G
32	20	10	G

*การเกิดเจล : N = ไม่เกิดเจล G = เกิดเจล

นำเยลลี่ทั้ง 5 สูตรมาประเมินคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ได้แก่ ลักษณะที่ปรากฏ ได้แก่ สี ความใส การไหลตัว ความคงตัว รอยตัดด้วยข้อัน แสดงผลในตารางที่ 24 วัดความเป็นกรดต่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และความแข็งของเยลลี่ แสดงผลในตารางที่ 25

ตารางที่ 24 ลักษณะที่ปรากฏ การไหลตัว ความคงตัว และรอยตัดของสูตรเยลลี่ที่ปรับปรุงความหวานโดยใช้น้ำตาลชนิดต่างๆ แล้วเกิดเจล

สูตรที่ ¹	สี	ความใส	การไหลตัว ความคงตัว	รอยตัดด้วยข้อัน
28	สีน้ำตาล แดงเข้ม	ใสเป็นประกาย	ไม่ไหลตัว คงตัวดีที่อุณหภูมิห้อง	รอยตัดเรียบ คงรูป ไม่เหนียวติดข้อัน
29	สีน้ำตาล แดงเข้ม	ใสเป็นประกาย	ไม่ไหลตัว คงตัวดีที่อุณหภูมิห้อง	รอยตัดเรียบ คงรูป ไม่เหนียวติดข้อัน
30	สีน้ำตาล แดงเข้ม	ใสเป็นประกาย	ไหลตัวน้อย คงตัวดีที่อุณหภูมิห้อง	รอยตัดเรียบ คงรูป ไม่เหนียวติดข้อัน
31	สีน้ำตาล แดงเข้ม	ใสเป็นประกาย	ไหลตัวน้อย คงตัวดีที่อุณหภูมิห้อง	รอยตัดเรียบ คงรูป ไม่เหนียวติดข้อัน
32	สีน้ำตาล แดงเข้ม	ใสเป็นประกาย	ไหลตัวน้อย คงตัวดีที่อุณหภูมิห้อง	รอยตัดเรียบ คงรูป ไม่เหนียวติดข้อัน

¹สูตรที่ 28-30 ใช้น้ำตาลฟรุกโตส สูตรที่ 31-32 ใช้น้ำตาลซูโครสผสมน้ำตาลฟรุกโตส เป็นสารให้ความหวาน

ตารางที่ 25 ความเป็นกรดต่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และความแข็งจากการวัดเยลลี่ที่ปรับปรุงความหวานโดยใช้น้ำตาลชนิดต่างๆ แล้วเกิดเจล

สูตรที่	ความเป็นกรดต่าง* (pH)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ทั้งหมด* (°brix)	ความแข็ง* (กรัมแรง)
28	2.354 (0.009) ^a	55.2 (0.3) ^a	2348.20 (6.71) ^a
29	2.378 (0.007) ^b	55.5 (0.5) ^a	2337.50 (4.65) ^a
30	2.395 (0.006) ^c	55.0 (0.0) ^a	2275.30 (5.48) ^b
31	2.405 (0.006) ^c	55.3 (0.3) ^a	2273.67 (10.10) ^b
32	2.444 (0.007) ^d	55.0 (0.0) ^a	2239.23 (7.46) ^c

¹สูตรที่ 28-30 ใช้น้ำตาลฟรุกโตส สูตรที่ 31-32 ใช้น้ำตาลซูโครสผสมน้ำตาลฟรุกโตส เป็นสารให้ความหวาน

ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง และค่าในวงเล็บแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{abcd} เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง โดยอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

5.6 ตัวแทนของสูตรเยลลี่ที่เตรียมจาก สารให้ความหวานแต่ละชนิด

คัดเลือกสูตรเยลลี่ 4 สูตร ที่เป็นตัวแทนของสูตรเยลลี่ที่เตรียมจากน้ำตาลแต่ละชนิดที่มีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่ดีที่สุด ดังนี้

5.6.1 ตัวแทนของเยลลี่ที่ใช้น้ำตาลซูโครส 2 สูตร ได้แก่ สูตรที่ 8 และ 14

จากผลการทดลองตารางที่ 22 พบว่าเยลลี่สูตรที่ 10 13 14 7 และ 8 เป็นสูตรที่มีความแข็งน้อยกว่าสูตรอื่นๆ ได้แก่ 1697.50 2164.43 2184.50 และ 2192.33 กรัม เรียงตามลำดับจากน้อยไปมาก โดยสูตรที่ 10 แม้จะมีความแข็งน้อยที่สุด แต่เนื้อเยลลี่ไม่คงตัว มีน้ำไหลเยิ้มบางส่วนเมื่อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง จึงไม่เลือกเป็นตัวแทน ส่วนสูตรที่ 7 และ 8 มีความแข็งใกล้เคียงกัน แต่สูตรที่ 8 ใส่ปริมาณของผงมะขามมากกว่าคือร้อยละ 6 จึงเลือกสูตรที่ 8 เป็นตัวแทน ส่วนสูตรที่ 13 และ 14 มีความแข็งใกล้เคียงกัน แต่สูตรที่ 14 ใส่ปริมาณของผงมะขามมากกว่าคือร้อยละ 6 จึงเลือกสูตรที่ 14 มาเป็นตัวแทนของเยลลี่ที่เตรียมจากน้ำตาลซูโครส

5.6.2 ตัวแทนของเยลลี่ที่ใช้น้ำตาลฟรุกโตส 1 สูตร ได้แก่ เยลลี่สูตรที่ 30

จากผลการทดลองตารางที่ 25 พบว่าเยลลี่สูตรที่ 30 29 และ 28 เป็นสูตรที่มีความแข็ง 2275.30 2337.50 และ 2348.20 กรัม เรียงตามลำดับจากน้อยไปมาก ส่วนคุณสมบัติด้านอื่นๆ ได้แก่ เนื้อเยลลี่เป็น สีน้ำตาลใสเป็นประกาย คงตัวดีที่อุณหภูมิห้อง รอยตัดด้วยช้อนเรียบ ไม่เหนียวติดช้อน ความเป็นกรดต่ำ และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดไม่ต่างกันในแต่ละสูตร จึงเลือกสูตรที่ 30 ซึ่งมีความแข็งน้อยที่สุดเป็นตัวแทนของ เยลลี่ที่เตรียมจากน้ำตาลฟรุกโตส

5.6.3 ตัวแทนของเยลลี่ที่ใช้น้ำตาลซูโครสผสมน้ำตาลฟรุกโตส 1 สูตร ได้แก่ เยลลี่สูตรที่ 31

จากผลการทดลองตารางที่ 25 พบว่าเยลลี่สูตรที่ 31 มีความแข็งน้อยกว่าสูตรที่ 32 และใกล้เคียงกับสูตรที่ 30 ซึ่งเป็นตัวแทนของเยลลี่ที่เตรียมจาก

น้ำตาลฟรุทโตส จึงเลือกสูตรที่ 31 เป็นตัวแทนของเยลลี่ที่เตรียมจากน้ำตาลซูโครสผสมน้ำตาลฟรุทโตส

5.7 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเยลลี่ที่ใช้น้ำตาลต่างๆ ดังนี้

นำสูตรเยลลี่ที่ได้รับการคัดเลือกจากข้อ 5.6 มาประเมินผลด้านรสชาติและกลิ่น วัดค่าสี แสดงผลในตารางที่ 26 และวิเคราะห์ปริมาณกรดทาร์ทาริก แสดงผลในตารางที่ 27

ตารางที่ 26 รสชาติ กลิ่น และสีโดยใช้เครื่องวัดสี Minolta Chromameter ของเยลลี่ 4 สูตรที่เป็นตัวแทนเยลลี่ที่เตรียมจากน้ำตาลชนิดต่างๆ

สูตรที่	สารให้ความหวานที่ใช้	กลิ่น	รสชาติ	ค่าสี*		
				L	a	b
8	น้ำตาลซูโครส ร้อยละ 35	ไม่มีกลิ่น	เปรี้ยวหวาน	37.76	8.16	13.97
		มะขาม	จัด	(0.60)	(0.80)	(1.03)
14	น้ำตาลซูโครส ร้อยละ 40	ไม่มีกลิ่น	เปรี้ยวหวาน	38.42	6.87	14.58
		มะขาม	จัด	(0.04)	(0.13)	(0.27)
30	น้ำตาลฟรุทโตส	ไม่มีกลิ่น มะขาม	เปรี้ยวหวาน จัด	39.74 (0.57)	10.65 (0.19)	12.95 (0.34)
31	น้ำตาลซูโครส ผสมน้ำตาล ฟรุทโตส	ไม่มีกลิ่น	เปรี้ยวหวาน	37.07	7.78	13.31
		มะขาม	จัด	(0.62)	(0.77)	(0.97)

* ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง และค่าในวงเล็บแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 27 ปริมาณกรดทาร์ทริกในเยลลี่มะขาม

สูตรที่	สารให้ความหวานที่ใช้	ปริมาณกรดทาร์ทริกในเนื้อเยลลี่ 1 กรัม (มิลลิกรัม)	น้ำหนักเฉลี่ยของเยลลี่ในแต่ละการทดลอง (กรัม)	ปริมาณกรดทาร์ทริกในเนื้อเยลลี่แต่ละสูตร (มิลลิกรัม)
8	น้ำตาลซูโครส ร้อยละ 35	16.2 ^a (1.0)	56.4692 ^a (0.0851)	914.8 ^a (1.4)
14	น้ำตาลซูโครส ร้อยละ 40	15.4 ^a (0.1)	55.9894 ^a (0.1302)	863.4 ^b (2.0)
30	น้ำตาลฟรุกโตส	21.6 ^b (1.0)	38.5496 ^b (0.0755)	832.7 ^c (1.6)
31	น้ำตาลซูโครสผสมน้ำตาลฟรุกโตส	19.3 ^c (0.1)	44.0512 ^c (0.0543)	850.2 ^b (1.0)

* ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง และค่าในวงเล็บแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{abc} เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของคะแนนตามแนวนอน โดยอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

5.8 ประเมินความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์เยลลี่

นำเยลลี่ทั้ง 4 สูตรซึ่งเป็นตัวแทนของเยลลี่ที่เตรียมจากน้ำตาลแต่ละชนิด ได้แก่ น้ำตาลซูโครส (สูตรที่ 8 และ 14) น้ำตาลฟรุกโตส (สูตรที่ 30) และน้ำตาลซูโครสผสมน้ำตาลฟรุกโตส (สูตรที่ 31) มาประเมิน ความพึงพอใจใช้วิธีให้คะแนนความยอมรับของผลิตภัณฑ์ในด้านต่างๆ โดยผู้ประเมินกิ่งฝักฝน 10 ราย ให้คะแนนความชอบต่อรสชาติของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่ 1- 5 โดยคะแนน 1 = ไม่ชอบมากที่สุด และคะแนน 5 = ชอบมากที่สุด ผลการประเมินแสดงในตารางที่ 28

5.8.1 สี ลักษณะที่ปรากฏให้เห็นภายนอก

คะแนนความชอบต่อสีและลักษณะที่ปรากฏให้เห็นภายนอกของเยลลี่ที่เตรียมจากน้ำตาลฟรุกโตส มีค่าน้อยกว่าเยลลี่ที่เตรียมจากน้ำตาลซูโครส และน้ำตาลซูโครสผสมน้ำตาล ฟรุกโตส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

5.8.2 กลิ่นของเยลลี่

คะแนนความชอบต่อกลิ่นของเยลลี่ที่เตรียมจากน้ำตาลซูโครส น้ำตาลฟรุกโตส และน้ำตาลซูโครสผสมน้ำตาลฟรุกโตส ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

5.8.3 รสชาติของเยลลี่

คะแนนความชอบต่อรสชาติของเยลลี่ที่เตรียมจากน้ำตาลซูโครส น้ำตาลฟรุกโตส และน้ำตาลซูโครสผสมน้ำตาลฟรุกโตส ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

5.8.4 เนื้อสัมผัสขณะรับประทาน

คะแนนความชอบต่อเนื้อสัมผัสของเยลลี่ที่เตรียมจากน้ำตาลซูโครสได้รับคะแนนความชอบมากที่สุด แต่ในทางสถิติคะแนนความชอบไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากสูตรเยลลี่ที่เตรียมจากน้ำตาลซูโครสผสมน้ำตาลฟรุกโตส

5.8.5 รอยตัดเยลลี่ด้วยช้อน

คะแนนความชอบต่อรอยตัดของเยลลี่ที่เตรียมจากน้ำตาลซูโครส น้ำตาลฟรุกโตส และน้ำตาลซูโครสผสมน้ำตาลฟรุกโตสไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

5.8.6 ความชอบโดยรวม

คะแนนความชอบโดยรวมของเยลลี่ที่เตรียมจากน้ำตาลซูโครสได้รับคะแนนความชอบมากที่สุด แต่ในทางสถิติคะแนนความชอบไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากสูตรเยลลี่ที่เตรียมจากน้ำตาลซูโครสผสมน้ำตาลฟรุกโตส ส่วนเยลลี่ที่เตรียมจากน้ำตาลฟรุกโตสได้รับคะแนนความชอบน้อยที่สุด ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากสูตรเยลลี่ที่เตรียมจากน้ำตาลซูโครส และน้ำตาลซูโครสผสมน้ำตาลฟรุกโตส

ตารางที่ 28 คะแนนเฉลี่ยความชอบในด้านต่างๆที่ผู้ชิมให้แก่เยลลี่

ความชอบ	ค่าเฉลี่ยของคะแนน			
	สูตร 8	สูตร 14	สูตร 30	สูตร 31
สีและลักษณะที่ปรากฏให้ เห็นภายนอก	4.00 (1.16) ^a	4.00 (0.94) ^a	2.70 (1.06) ^b	3.90 (0.99) ^a
กลิ่นของเยลลี่	3.40 (0.97) ^a	3.40 (1.08) ^a	4.10 (0.99) ^a	3.90 (1.19) ^a
รสชาติของเยลลี่	4.00 (0.82) ^a	4.00 (0.67) ^a	3.10 (1.19) ^a	3.80 (1.14) ^a
เนื้อสัมผัสขณะรับประทาน	4.10 (0.99) ^{ac}	4.20 (1.03) ^{ac}	3.10 (1.29) ^b	3.60 (0.69) ^{bc}
รอยตัดเยลลี่ด้วยช้อน	3.90 (0.88) ^a	3.80 (0.92) ^a	3.30 (1.41) ^a	3.80 (0.79) ^a
ความชอบโดยรวม	3.70 (0.94) ^a	4.00 (0.82) ^a	2.40 (0.84) ^b	3.70 (1.16) ^a

* คะแนนความชอบจัดลำดับจาก 1-5 ตั้งแต่คะแนนไม่ชอบมากที่สุดถึงชอบมากที่สุด ค่าในวงเล็บ
แสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{abc} เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของคะแนนตามแนวนอน โดยอักษรที่ต่างกันมีความ
แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

บทที่ 5

อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

1. พันธุ์มะขาม

พันธุ์มะขามที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นมะขามเปรี้ยวยักษ์พันธุ์โคราช เนื่องจากมีความเปรี้ยวสูง ทำให้มีปริมาณกรดผลไม้ตามธรรมชาติมาก เช่น กรดทาร์ทาริก ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในการเป็นอาหารฟังก์ชัน โดยเฉพาะในด้านการช่วยระบาย จึงเหมาะต่อการนำมาพัฒนาเป็นสูตรเครื่องดื่มมะขามผงฟูและเยลลี่มะขามต่อไป

2. การเตรียมน้ำมะขามเข้มข้น

การสกัดน้ำมะขามนิยมใช้น้ำเป็นตัวทำละลายเนื่องจากมีความปลอดภัยต่อการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร (เปาวิ คงสุนทรกิจกุล, 2548; แสนพล ถิ่นมธุรส, 2532; สุกัญญา ธนพัฒนากุล และคณะ, 2544) อีกทั้งกรดทาร์ทาริกที่มีในเนื้อมะขามซึ่งเป็นสารสำคัญในการออกฤทธิ์ช่วยให้ระบายสามารถละลายได้ดีในน้ำ (กรดทาร์ทาริก 1 กรัม ละลายได้ในน้ำธรรมดา 0.75 มิลลิลิตร ละลายได้ในน้ำร้อนอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 0.50 มิลลิลิตร) (Marydele, 2001; Wade และ Weller, 1994) น้ำมะขามเข้มข้นที่สกัดได้มีลักษณะเป็นสารละลายสีน้ำตาลแดงเข้มกลิ่นหอมมะขามเนื่องจากมีสารพวกน้ำมันหอมระเหยเป็นองค์ประกอบ โดย Lee, Swords และ Hunter (1975) ได้ศึกษาโดยใช้ gas chromatography และ mass spectroscopy พบว่าสารให้กลิ่นในเนื้อมะขามสุกมีประมาณ 61 ชนิด สารที่สำคัญได้แก่ 2-acetyl-furan ให้ลักษณะกลิ่นที่เรียกว่า balsamic-simmamic ความเป็นกรดต่างของน้ำมะขามเข้มข้นเท่ากับ 1.943 ทำให้มีรสเปรี้ยวจัด ปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมดเท่ากับ 49.67 องศาบริกซ์ ซึ่งมากกว่าน้ำมะขามที่สกัดโดยสุกัญญา ธนพัฒนากุล และคณะ (2544) ที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมดเท่ากับ 27 องศาบริกซ์ ทำให้น้ำมะขามเข้มข้นที่สกัดได้ในการทดลองนี้มีลักษณะเป็นสารละลายขุ่นหนืด วิเคราะห์ปริมาณกรดทาร์ทาริกในน้ำมะขามเข้มข้น 1 กรัม มีค่า 187.2 มิลลิกรัม ซึ่งมากกว่าการสกัดของวิโรจน์ ชัยพรโกติน (2008) ที่มีปริมาณกรดทาร์ทาริก 89.9 กรัม ซึ่งสกัดโดยใช้น้ำแล้วนำไปตกตะกอนทำให้ใสด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงความเร็วสูง (Centrifuge) และระเหยให้เข้มข้นด้วยเครื่องระเหยแบบหมุนภายใต้ความดันต่ำ (Rotary evaporator) สำหรับกรดทาร์ทาริกเป็นกรดที่พบมากที่สุด ในมะขามชนิดเปรี้ยว มีปริมาณ 12.20-23.80 % ของเนื้อมะขาม ซึ่งสูงกว่าพืชชนิดอื่นๆที่มีการศึกษาไว้ (Ulrich, 1970) มีนักวิจัยแต่ละกลุ่มได้รายงานปริมาณของกรดทาร์ทาริกใน

เนื้อมะขามที่มีค่าแตกต่างกันไป ได้แก่ Shri และคณะ (1976) พบว่าเนื้อมะขามมีปริมาณกรดทาร์ทาริก 8-18 % ของเนื้อมะขาม ส่วน Hasan และ Ijaz (1972) พบว่าในเนื้อมะขามเปรี้ยวในประเทศปากีสถานมีปริมาณกรดทาร์ทาริก 8.40-12.40% ของเนื้อมะขาม ในประเทศไทยพบว่ามะขามมีปริมาณกรดทาร์ทาริก 2.50-11.30 % ของเนื้อมะขาม โดยมะขามชนิดหวานมีปริมาณกรดทาร์ทาริกน้อยกว่ามะขามชนิดเปรี้ยว คือ มีค่าต่ำกว่าร้อยละ 2.00-3.20% (Feungchan, Yimsawat และ Kitpowsong, 1996) ขณะที่ชูศักดิ์ สัจจพงษ์ (2542) พบว่ามะขามชนิดเปรี้ยวมีปริมาณกรดทาร์ทาริก 12.00-17.00 % ของเนื้อมะขาม

3. การผลิตผงมะขาม

การทำผงมะขามโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่น เลือกลงใช้มอลโตเด็กซ์ทรีนเป็นสารเพิ่มปริมาณ (drying aid) เนื่องจากหาซื้อได้ง่าย ราคาไม่แพง ลักษณะเป็นผงสีขาว ละลายน้ำได้ดี ให้สารละลายใส ไม่มีสี (Wade, 1994) ช่วยเพิ่มความคงตัวของสารให้กลิ่นรสระหว่างกระบวนการทำแห้ง (เปาวิ คงสุนทรภักจุล, 2548; Rulkens และ Thijseen, 1972;; Kopelman, Meydav และ Wilmerdorf, 1977a) และช่วยลดการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้ (Juan และคณะ, 1987; Bangs และ Reineccius, 1981) ในการศึกษาครั้งนี้ นำน้ำมะขามเข้มข้นที่สกัดได้มาเติมมอลโตเด็กซ์ทรีนร้อยละ 10 20 30 และ 40 แล้วนำมาทำแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่น (spray dryer) ที่อุณหภูมิลมเข้า 130 องศาเซลเซียส อุณหภูมิลมออก 90 องศาเซลเซียส พบว่าผงมะขามที่ได้จากการเตรียมโดยเติมมอลโตเด็กซ์ทรีนร้อยละ 40 ได้ผงมะขามที่ลักษณะดีที่สุด ผงมีขนาดเล็ก ร่วนละเอียด สีน้ำตาลอ่อน หอมกลิ่นมะขาม ปริมาณความชื้นร้อยละ 2.24 เมื่อละลายน้ำมีความเป็นกรดต่าง 2.627 ค่าการละลายในรูปร้อยละของปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายเท่ากับ 1.1485 เวลาในการละลายน้ำอุณหภูมิห้องและน้ำอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเท่ากับ 138 และ 80 วินาทีตามลำดับ และน้ำหนักผงมะขามที่ผลิตได้มากที่สุดคือ ร้อยละ 29.369 ส่วนโทนสีของผงมะขามที่ได้จากการสังเกตด้วยตาเปล่าและการวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี มีลักษณะเป็นสีน้ำตาล เช่นเดียวกับน้ำมะขามเข้มข้น เนื่องจากสารให้สีในน้ำมะขามเป็นกลุ่มแคโรทีนอยด์และคลอโรฟิลล์ 66 เมื่อถูกความร้อนจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างการทำแห้ง และจากปฏิกิริยาจากเอนไซม์ที่หลงเหลืออยู่ในมะขามทำให้เกิดสีน้ำตาล (ปวดี วงษ์มา, 2542) สีของผงมะขามที่เติมมอลโตเด็กซ์ทรีนร้อยละ 40 จะมีสีโทนน้ำตาลอ่อนที่สุด เนื่องจากมีปริมาณน้ำมะขามน้อยแต่ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรีนมากเมื่อเทียบกับสัดส่วนอื่นๆ

ในระหว่างกระบวนการพ่นแห้งพบว่าผงมะขามจะเกาะตามข้างผนังของห้องแห้ง (drying chamber) ไม่ถูกดูดลงไปเก็บในภาชนะเก็บผงของเครื่อง (collector) อาจเนื่องจากความ

ไม่สม่ำเสมอของหัวฉีด (atomizer) ซึ่งพบว่าละอองที่มีขนาดใหญ่เมื่อถูกพ่นออกจากหัวฉีด จะถูกพ่นออกไปได้ไกลกว่าแต่ตกลงพื้นได้เร็วกว่าละอองที่มีขนาดเล็กๆ ละอองที่มีขนาดใหญ่จะไม่แห้ง ยังคงมีความชื้นอยู่ภายใน เมื่อกระทบผนังของเครื่องทำแห้งความชื้นที่เหลืออยู่จะทำให้ผนังได้เกาะติดผนังของเครื่องทำแห้ง มีการศึกษาพบว่าหัวฉีดแบบ centrifugal หรือ spinning disc จะเหมาะสมกับน้ำผลไม้ที่มีเนื้อผสม หรือน้ำผลไม้ข้นหนืดมากกว่าชนิด pressure nozzle ซึ่งเป็นชนิดที่ใช้ในการทดลองนี้ อีกทั้งการระเหยของน้ำเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว บางครั้งวัตถุดิบบางส่วนอาจแข็งตัวอยู่ที่หัวฉีด ทำให้หัวฉีดอุดตัน ส่งผลให้การพ่นกระจายไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้การระเหยของน้ำทำให้ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิไม่สูงมากนัก ถึงแม้ว่ารอบๆ จะมีอากาศร้อน การระเหยมีอัตราคงที่ (constant rate period) และความชื้นจากน้ำที่ระเหยออกมาทำให้อากาศใน chamber เย็นลง ทำให้อัตราการทำแห้งลดลง มีผลให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นเพิ่มขึ้นและเกาะติดผนังของเครื่อง รวมทั้งเกิดการสลายตัวของผลิตภัณฑ์ (heat damage) เนื่องจากอยู่ในช่วงอากาศร้อนนานไป หรือเกิดการหลอมละลายของผลิตภัณฑ์ติดกับผนังของเครื่อง (Bangs และ Reineccius, 1981; Bender, 1978; Bertuzzi, 2005)

ผงมะขามที่ได้จากการเตรียมโดยเติมมอลโตเด็คท์ทรีนร้อยละ 40 ที่มีลักษณะดีที่สุด เมื่อบรรจุผงมะขามในถุงลามิเนตด้วยเครื่องบรรจุสุญญากาศแบบมีอกด และเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน พบว่าผงมะขามที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องมีการเปลี่ยนแปลงของลักษณะผงโดยในวันที่ 7 ผงมะขามเริ่มเกาะตัวเป็นก้อน ค่า L^* ลดลง ค่า a^* และ b^* เพิ่มขึ้น หมายถึงผงมะขามมีสีน้ำตาลเข้มขึ้น สอดคล้องกับปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ส่งผลให้เวลาในการละลายเพิ่มขึ้นเช่นกัน เนื่องจากผงมะขามเกาะตัวเป็นก้อน การละลายจึงช้าลง ทำให้ต้องเพิ่มเวลาในการละลายผงมะขามให้หมด สำหรับผงมะขามที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียส ผลการเปลี่ยนแปลงมีแนวโน้มเช่นเดียวกับผงมะขามที่เก็บไว้ในอุณหภูมิห้องแต่จะเกิดช้ากว่า โดยพบว่าผงมะขามเริ่มเกาะเป็นก้อน และสีผงมะขามคล้ำลงในวันที่ 30 สอดคล้องกับปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้น และเวลาในการละลายที่เพิ่มขึ้น แต่เพิ่มขึ้นน้อยกว่าเมื่อเทียบกับค่าที่วัดจากผงมะขามที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง แสดงว่าการเก็บผงมะขามในที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้คงลักษณะทางกายภาพที่ดีกว่าการเก็บที่อุณหภูมิสูง

เมื่อนำผงมะขามที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียสมาวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา ในวันที่เริ่มต้น วันที่ 7 วันที่ 15 และวันที่ 30 ไม่พบแบคทีเรียชนิดโคลิฟอร์ม *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* ในส่วนยีสต์และราพบปริมาณน้อยกว่า

10 cfu/g ส่วนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดชนิดมีโซไฟล์ (เชื้อจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 30-40 องศาเซลเซียส) พบน้อยกว่า 10 cfu/g ซึ่งตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสำหรับมะขามผงสำเร็จรูปคือ มีได้ไม่เกิน 1×10^4 โคโลนีต่ออาหาร 1 กรัม (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2549) แสดงว่าผงมะขามดังกล่าว ทั้งที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน มีความปลอดภัยจากเชื้อจุลินทรีย์

4. การพัฒนาเครื่องต้มมะขามผงฟู

สำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้เป็นอาหารฟังก์ชัน สารสกัดจากพืชถูกนำมาใช้ประโยชน์ในด้านการป้องกัน รักษา หรือส่งเสริมสุขภาพอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะการพัฒนาสูตรตำรับรูปแบบต่างๆ ผลิตภัณฑ์ฟองฟูเป็นผลิตภัณฑ์รูปแบบหนึ่งที่มีการพัฒนานำเอาสารสกัดจากพืชมาเตรียมเป็นส่วนประกอบ เพื่อปรับปรุงรสชาติให้นำรับประทานมากขึ้น มีการละลายที่ดีขึ้นเหมาะกับผู้ที่ไม่สามารถกลืนหรือเคี้ยวได้ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ฟองฟูต้องนำมาละลายน้ำก่อนรับประทาน หลักการของปฏิกิริยาฟองฟูเกิดจากสารที่มีฤทธิ์เป็นกรดและสารกลุ่มไบคาร์บอเนตหรือคาร์บอเนตทำปฏิกิริยาคาร์บอเนชันในน้ำอย่างรวดเร็ว และมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา (พรศักดิ์ ศรีอมรศักดิ์, 2547; Bertuzzi, 2005; Macewan, 1953)

ในการศึกษานี้ สูตรพื้นฐานของเครื่องต้มมะขามผงฟูเลือกใช้กรดซิตริกในรูป anhydrous เป็นสารให้กรด เนื่องจากมีการละลายน้ำดีมาก และเป็นที่ยอมรับในสูตรตำรับผลิตภัณฑ์ฟองฟูทั่วไป ใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตเป็นแหล่งของคาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจากให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์มาก (52 %w/w CO₂) ละลายน้ำได้ดี ราคาถูก ความชื้นต่ำ (พรศักดิ์ ศรีอมรศักดิ์, 2547; Bertuzzi, 2005) อาจมีการนำสารในกลุ่มโปแตสเซียมไบคาร์บอเนตแทน การใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตได้ แต่ไม่นิยมเนื่องจากหากในปฏิกิริยาคาร์บอเนชันมีปริมาณของโปแตสเซียมไบคาร์บอเนตมากเกินไป อาจไปทำปฏิกิริยากับกรดทาร์ทริกในมะขามเกิดการตกตะกอนของเกลือโปแตสเซียมทาร์ทเรตได้ (Macewan, 1953) โดยสัดส่วนของกรดซิตริกและโซเดียมไบคาร์บอเนตในแต่ละสูตรที่ใช้ในการทดลอง จะทำปฏิกิริยาพอดีกันเมื่อคำนวณตามน้ำหนักโมเลกุลของแต่ละสาร โดยกรดซิตริก 1 โมล (น้ำหนัก 192 กรัม) ทำปฏิกิริยาพอดีกับโซเดียมไบคาร์บอเนต 3 โมล (น้ำหนัก 252 กรัม) โดยทั่วไปอาจเติมกรดซิตริกให้เหลือจากการทำปฏิกิริยา เพื่อเพิ่มรสเปรี้ยวให้กับตำรับ แต่เนื่องจากผลิตภัณฑ์เครื่องต้มมะขามผงฟูมีรสชาติที่เปรี้ยวจากผงมะขามอยู่แล้ว จึงไม่จำเป็นต้องเติมกรดให้เกินอีก (Bertuzzi, 2005) ในการวิจัยได้ปรับอัตราส่วนของสารก่อฟองฟูเป็น 4 แบบ เพื่อดูลักษณะการเกิดฟองที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณสารก่อฟองที่เพิ่มขึ้น โดยแต่ละแบบโซเดียมไบคาร์บอเนตจะทำปฏิกิริยาพอดีกับกรดซิตริก

โดยทั่วไปกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ผงฟูมีหลายวิธี ได้แก่ การผสมโดยตรง การตอกเพื่อทำในรูปแบบเม็ด (direct compression) การเตรียมเป็นแกรนูล (wet or dry granulation) ได้ออกมาเป็นผงแห้ง หรือการเตรียมแกรนูลแบบพ่นแห้ง (พรศักดิ์ ศรีอมรศักดิ์, 2547; Bertuzzi, 2005; Macewan, 1953) สำหรับในการทดลองเลือกใช้วิธีการผสมแห้ง โดยผสมส่วนประกอบต่างๆ เข้าด้วยกันโดยใช้หลัก geometric dilution เนื่องจากลักษณะของผงมะขามที่ทำแห้งแบบพ่นที่ใช้เป็นส่วนประกอบสำคัญดูดความชื้น และการเตรียมตำรับผลิตภัณฑ์โดยวิธีการอื่นๆ ต้องใช้ระยะเวลาอันยาวนานร่วมกับการใช้ความร้อนในการอบแห้งซึ่งจะทำให้ผงมะขามละลายเยิ้มเหลวเหนียวเป็นก้อน ไม่สามารถทำเป็นผงแห้งได้ บางการวิจัยที่ใช้สารสกัดจากพืชเป็นส่วนประกอบหลักจะเตรียมสารสกัดพืชในลักษณะเป็นสารสกัดเข้มข้น ซึ่งมีลักษณะข้นเหนียวและนำไปผสมกับองค์ประกอบอื่นในตำรับฟองฟู และเตรียมโดยใช้วิธีทำแกรนูลแบบเปียก (ณัชชา ผลศรัทธา และพรจิตร เขี่ยมอุไร, 2544) หรือในกรณีที่สารประกอบสำคัญมีลักษณะเป็นผงแห้ง ดูดความชื้นน้อยก็สามารถเตรียมตำรับฟองฟูได้หลายวิธีดังที่กล่าวแล้วข้างต้น

เครื่องตีมะขามผงฟูทั้ง 4 สูตร (สูตรที่ 1-4) มีลักษณะผงสีน้ำตาลอ่อนละเอียด ไม่เกาะตัวเป็นก้อน เมื่อสังเกตลักษณะการเกิดฟองด้วยตาเปล่า จะเห็นว่าเกิดฟองฟูขึ้นทันทีเมื่อเทผงเครื่องตีลงน้ำ ฟองมีสีน้ำตาลอ่อน ขนาดเล็กละเอียด ปริมาณฟองมาก 17-57 มิลลิลิตรและฟองค่อยๆ ยุบตัวอย่างช้าๆ โดยระยะเวลาการยุบตัวของฟองนาน 5 นาที 40 วินาที ถึง 17 นาที 5 วินาที ซึ่งแปรตามสัดส่วนสารก่อฟองที่เพิ่มขึ้นในสูตรที่ 1-4 ตามลำดับ การศึกษาเบื้องต้น (preliminary test) ได้มีการทดลองสังเกตลักษณะฟองที่เกิดขึ้น โดยเติมส่วนประกอบต่าง ๆ ยกเว้นผงมะขาม พบว่าฟองเครื่องตีมีขนาดเล็กและใหญ่ปนกัน ใช้เวลาการเกิดจนยุบของฟองประมาณ 40 วินาที ได้สารละลายใสไม่มีตะกอน แต่เมื่อมีการเติมผงมะขาม หรือทดลองเติมน้ำมะขามเข้มข้นแทนผงมะขาม ผลิตภัณฑ์ฟองฟูจะมีฟองขนาดเล็กละเอียด ปริมาณฟองมาก และใช้เวลาตั้งแต่การเกิดจนยุบตัวของฟองนาน เช่นเดียวกับผลการทดลองข้างต้น เนื่องจากปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่นเกิดอย่างรุนแรงและรวดเร็ว ทำให้ผงเครื่องตีบางส่วนเปียกน้ำ (hydrating) อย่างรวดเร็ว เครื่องตีเกิดขึ้นของสารละลายของน้ำมะขามเข้มข้นกันไว้ ชัดขวางการแพร่ของน้ำที่จะเข้ามาทำละลายผงเครื่องตีส่วนที่เหลือ ทำให้การแตกตัวและการละลายผงเครื่องตีใช้เวลานาน นอกจากนี้ปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่นที่เกิดอย่างรุนแรงและรวดเร็ว ทำให้เกิดขึ้นของฟองที่หนา ผงเครื่องตีบางส่วนถูกกักไว้ในฟอง ทำให้การแตกตัวและการละลายผงเครื่องตีใช้เวลานาน นอกจากนี้สารสกัดจากพืชมีซาโปนิน (saponin) เป็นองค์ประกอบ ทำให้แนวโน้มการเกิดฟองมีปริมาณมากกว่าปกติ การแก้ปัญหาดังกล่าวอาจทำได้โดยการเคลือบสารสกัดจากพืชหรือสารที่มี

ฤทธิ์เป็นกรด เพื่อให้กรดถูกปลดปล่อยออกมาจากสารเคลือบอย่างช้าๆ ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชันที่รุนแรง (Mercati, 2008) แต่การเคลือบต้องคำนึงถึงความสามารถในการละลายในตัวทำละลายของผลิตภัณฑ์ฟองฟู และระยะเวลาในการแพร่ของกรดเพื่อออกมาทำปฏิกิริยากับต่างในสารละลายเพื่อให้เกิดฟอง โดยต้องมีการทดสอบการละลายในภาวะเดียวกับที่ผู้บริโภคจะรับประทานผลิตภัณฑ์ฟองฟูนั้น (Hansa, 2008) แต่ผลิตภัณฑ์ฟองฟูบางประเภทต้องการให้ฟองเกิดขึ้นนานๆ เพื่อให้เพิ่มรสชาติและความน่าสนใจ ขณะรับประทาน เช่น ผลิตภัณฑ์ฟองฟูประเภทธัญพืช (cereal food) (Hansa, 2008)

การประเมินความพึงพอใจของเครื่องดื่มมะขามผงฟูที่ถูกคัดเลือกมา 5 สูตร ซึ่งเป็นตัวแทนของสูตรเครื่องดื่มที่มีสารให้ความหวานแต่ละชนิด ได้แก่ สูตรที่ 1 2 6 9 และ 12 โดยสูตรที่ 1 6 9 และ 12 มีปริมาณฟองไม่ต่างกันเนื่องจากมีสัดส่วนของสารก่อฟองเท่ากัน ส่วนสูตรที่ 2 มีสัดส่วนของสารก่อฟองมากกว่า ทำให้มีปริมาณฟองมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ผลการประเมินความพึงพอใจพบว่าคะแนนการยอมรับในลักษณะการเกิดฟองของสูตรที่ 1 และ 2 เท่ากัน ส่วนในหัวข้ออื่นๆ ได้แก่ สีผงเครื่องดื่ม กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมพบว่าสูตรที่ 2 ได้คะแนนการยอมรับมากที่สุด แสดงว่าผู้ทดสอบไม่สนใจว่ามีปริมาณฟองมากหรือน้อย แต่ดูองค์ประกอบโดยรวมของเครื่องดื่ม

ในด้านการศึกษาความคงตัวของเครื่องดื่มผงฟู ที่มีลักษณะดี และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากที่สุด โดยเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน พบว่าผงเครื่องดื่มมีค่าสี L^* ลดลง ค่าสี a^* และ b^* เพิ่มขึ้น หมายถึงผงเครื่องดื่มมีสีน้ำตาลเข้มขึ้น โดยผงเครื่องดื่มที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเริ่มเกาะตัวเป็นก้อนในวันที่ 15 ในขณะที่ผงเครื่องดื่มที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียส เริ่มมีการเกาะตัวเป็นก้อนในวันที่ 30 โดยทั้ง 2 สภาวะผงมะขามมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เช่นเดียวกัน แต่ที่อุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียส จะเพิ่มในอัตราที่น้อยกว่าที่อุณหภูมิห้อง แสดงว่าการเก็บผงเครื่องดื่มไว้ในที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้คงลักษณะทางกายภาพที่ดีของผงเครื่องดื่มได้ดีกว่าที่อุณหภูมิสูง

เมื่อนำผงเครื่องดื่มที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียสมาวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา ในวันที่เริ่มต้น วันที่ 7 วันที่ 15 และวันที่ 30 ไม่พบแบคทีเรียชนิดโคลิฟอร์ม *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* ส่วนยีสต์และรา พบน้อยกว่า 10 cfu/g ส่วนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดชนิดมีไซโทฟิลล์ (เชื้อจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 30-40 องศาเซลเซียส) พบน้อยกว่า 10 cfu/g ซึ่งตามมาตรฐานของประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่

214 พ.ศ. 2543 เรื่องเครื่องดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท มิได้กำหนดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไว้ จึงใช้เกณฑ์อ้างอิงของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสำหรับมะขามผงสำเร็จรูปคือ มิได้ไม่เกิน 1×10^4 โคโลนีต่ออาหาร 1 กรัม (กระทรวงสาธารณสุข, 2543; กระทรวงอุตสาหกรรม, 2549) แสดงว่าผงเครื่องดื่กดังกล่าว ทั้งที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน มีความปลอดภัยจากเชื้อจุลินทรีย์

5. การพัฒนาเยลลี่จากผงมะขาม

การพัฒนาสูตรเยลลี่ที่ทำจากผลไม้ องค์ประกอบที่สำคัญคือกรด น้ำตาล น้ำและสารก่อเจล ซึ่งต้องมีสัดส่วนที่เหมาะสมจึงจะสามารถเกิดเจลได้ กรดที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นกรดที่มีอยู่ในผลไม้ต่างๆ เช่น กรดซิตริก กรดทาร์ทาริก กรดมาลิก เป็นต้น น้ำตาลที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์เยลลี่ตามประกาศสาธารณสุข ฉบับที่ 213 พ.ศ. 2543 เรื่อง แยม เยลลี่ และมาร์มาเลด ในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท กำหนดห้ามมิให้ใช้สารให้ความหวานชนิดอื่นๆ แทนน้ำตาล (กระทรวงสาธารณสุข, 2543) ในการวิจัยนี้จึงเลือกใช้น้ำตาลซูโครส และน้ำตาลฟรุคโตส เป็นสารให้ความหวาน โดยส่วนใหญ่ใช้ความเข้มข้นของน้ำตาลตั้งแต่ 50 องศาบริกซ์ (อุไรรัช บุรณะคงคาตรี, 2538; Acosta, 2008) สารก่อเจลที่ใช้มีหลายชนิด เช่น เจลาติน อะการ์ คาราจีแนน และเพกติน เป็นต้น โดยแต่ละชนิดจะใช้ปริมาณและสภาวะการก่อเจลต่างกัน ในการวิจัยนี้เลือกใช้เพกตินเป็นสารก่อเจล เนื่องจากเพกตินเป็นองค์ประกอบที่มีอยู่ในมะขาม (Shri และคณะ, 1979) และมีคุณสมบัติช่วยระบาย โดยใช้เพกตินชนิดเมทอกซีสูง (HM) ระดับ Degree of esterification (DE) มากกว่าร้อยละ 70 สามารถเกิดเจลได้ต้องใช้น้ำตาลและกรดที่เหมาะสม (Acoata และคณะ, 2008; Royer และคณะ, 2006) ปริมาณเพกตินที่ใช้ตั้งแต่ 0.4 % ขึ้นไป (อุไรรัช บุรณะคงคาตรี, 2538; Nawawi และ Heikel, 1997) โดยใช้ระยะเวลาในการแข็งตัวของเจล 20-250 วินาที (Crandall และ Wicker, 1986) แต่ในการทดลองนี้พบว่าสูตรเยลลี่ที่เตรียมจะใช้เวลาในการเกิดเจลมากกว่า 10 นาที อาจเนื่องจากการพัฒนาเยลลี่นี้หวังผลเพื่อใช้เป็นอาหารฟังก์ชัน โดยเน้นการใส่ปริมาณผงมะขามให้ได้มากที่สุด เพื่อให้มีปริมาณกรดทาร์ทาริกมากเพียงพอต่อการช่วยระบาย โดยที่ผู้บริโภครับประทานเยลลีน้อยที่สุด จึงทำให้สัดส่วนขององค์ประกอบในสูตรเยลลี่แตกต่างไปจากการทดลองที่ผ่านมา ทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการเกิดเจลแตกต่างกัน โดยผลการทดลองพบว่า สูตรเยลลี่ทั้งหมด 27 สูตร สามารถเกิดเจลได้ 13 สูตร ได้แก่ สูตรที่ 7 8 10 13 14 16 17 19 20 22 23 25 และ 26 (ตารางที่ 20)

เพกตินชนิดเมทอกซีสูงสามารถทำให้เกิดเจลได้จากการละลายของเพกตินในน้ำ สร้างเป็นโครงร่างตาข่ายและพันธะระหว่างสายเพกตินซึ่งเกิดจากพันธะไฮโดรเจนและแรง Hydrophobic Interaction (HI) เมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลและปริมาณกรดเพิ่มขึ้น (pH ต่ำลง) การละลายของเพกตินลดลงแต่พันธะระหว่างสายเพกตินเพิ่มขึ้น (Bemillier, 1986; Crandall และ Wicker, 1986) ดังนั้นที่ระดับความเข้มข้นของน้ำตาลหนึ่งๆ ซึ่งทำให้มีน้ำเหลือเพียงพอที่จะทำให้เพกตินละลายหมด จะพบว่าเจลเกิดได้ดีขึ้นและความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลเพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำตาลละลายน้ำได้ดีกว่าเพกติน สมดุลระหว่างออสโมติกของน้ำกับออสโมติกของสายเพกตินถูกรบกวนโดยน้ำตาลซึ่งทำให้สายเพกตินถูกลักเข้าใกล้กันมากขึ้น เป็นผลให้เกิดแรง HI และพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายเพกตินเพิ่มขึ้น หากความเข้มข้นน้ำตาลเพิ่มขึ้นจนกระทั่งความเข้มข้นของน้ำตาลสูงถึงระดับที่มีน้ำเหลือไม่เพียงพอต่อการละลายของเพกตินบางส่วน ที่ระดับนี้ปริมาณเพกตินที่ละลายจะลดลงหรือผงเพกตินเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลสูงขึ้น ทำให้ความสามารถในการเกิดเจลและความแข็งแรงของเจลลดลง การที่ pH ลดลง (ปริมาณกรดเพิ่มขึ้น) เพกตินจะเกิดการแตกตัวน้อยลง เนื่องจากเมื่อเพกตินละลายในน้ำ หมู่ COOH บนสายจะแตกตัวให้ COO⁻ และ H⁺ และเมื่ออยู่ในภาวะเป็นกรด กรดจะ ionize ให้ ออสโมติก (ไฮโดรเจนออสโมติก) ทำให้เพกตินเกิดการ ionize ลดลง ส่งผลให้เพกตินมีแรงผลักระหว่างสายน้อยลง ทำให้เพกตินเข้าใกล้กันและเกิดพันธะภายในโครงร่างแหมากขึ้น (Crandall และ Wicker, 1986) จากผลการทดลองพบว่าเยลลี่ที่ใส่ผงมะขามร้อยละ 6-9 และน้ำตาลซูโครสร้อยละ 35-45 มีช่วงความเข้มข้นของน้ำตาลโดยดูจากค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 50-61 องศาบริกซ์ และช่วง pH ที่ทำให้เกิดเจล 2.253-2.883 ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของอุไรรัช บุรณะคงคาตรี(2538) ซึ่งทดสอบการเกิดเจลโดยใช้เพกตินชนิดเมทอกซีสูง สามารถเกิดเจลในช่วง pH 2.0-3.0 ในช่วงความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครส 50-70 องศาบริกซ์ กรณีสูตที่ใส่ผงมะขามร้อยละ 9 ซึ่งไม่สามารถเกิดจากแข็งตัวของเจลในทุกระดับปริมาณของน้ำตาลซูโครส และเพกติน อาจเนื่องจากความเข้มข้นของน้ำตาลไม่เพียงพอหรือค่า pH ต่ำมากเกินไป (ปริมาณกรดมาก) ทำให้การเกิด ionization ของเพกตินต่ำกว่าที่ภาวะ pH สูง จึงมีแรงผลักระหว่างสายเพกตินน้อยกว่า โอกาสที่เพกตินจะเข้ามาใกล้กันจนเกิดเป็นร่างแหเจลจึงมีน้อยกว่า เป็นผลให้ต้องการปริมาณน้ำตาลเพิ่มมากขึ้นเพื่อช่วยในการทำให้สายเพกตินเข้าใกล้กันมากขึ้นจนเกิดแรง HI ระหว่างสายเพกตินพอเพียงพอต่อการเกิดเจล สอดคล้องกับผลการทดลองของ Nelson และคณะ (1977) ที่รายงานว่าเพกตินชนิดเมทอกซีสูงที่มีค่า DE ตั้งแต่ 70 สามารถเกิดเจลโดยใช้น้ำตาลได้ เมื่อมี pH ในช่วง 3.0-3.4 ดังนั้นอาจมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยเพิ่มความ

เข้มข้นของน้ำตาลที่ใช้ในสูตรเยลลี่ เพื่อศึกษาการเจลเมื่อ pH สูงมากๆ แต่ในกรณีการเพิ่มความเข้มข้นน้ำตาลมากขึ้นในระดับหนึ่ง พบว่าไม่เกิดเจลที่ทุกระดับ pH เนื่องจากน้ำส่วนใหญ่มียูจะไปละลายน้ำตาล ทำให้มีน้ำไม่เพียงพอต่อการพองตัวและการละลายของเพกติน กล่าวคือเมื่อความเข้มข้นน้ำตาลสูงมากกว่า 70 องศาบริกซ์ จะทำให้ผงเพกตินส่วนใหญ่ไม่ละลายน้ำ ทำให้ไม่มีสายโซ่ของเพกตินในสารละลายน้ำตาลเพียงพอต่อการเกิดโครงร่างแห จึงไม่สามารถเกิดเจล

เมื่อพิจารณาในเรื่องความแข็งของเยลลี่โดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) จากผลการทดลองพบว่าสูตรเยลลี่มีความแข็งในช่วง 2,156-2,348 กรัม สูตรที่มีปริมาณเพกตินคงที่ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำตาล pH จะมีค่าต่ำลง ทำให้ความแข็งของเยลลี่จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากที่ระดับ pH ต่ำ การ ionization เกิดขึ้นได้น้อยกว่าที่ระดับ pH สูง ทำให้แรงผลักระหว่างสายเพกตินน้อย โอกาสที่สายเพกตินเข้าใกล้กันจนเกิดเป็นโครงร่างตาข่ายเจลมีมากขึ้น ความแข็งของเยลลี่จึงลดลง ในทำนองเดียวกันกับที่ระดับความเข้มข้นของน้ำตาลคงที่ การเพิ่มปริมาณเพกตินทำให้ความแข็งเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีปริมาณสารก่อเจลเพิ่มขึ้น ความแข็งแรงของเจลจึงเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาความแข็งของเยลลี่ในช่วง pH และความเข้มข้นน้ำตาลเดียวกัน จะเห็นว่าสูตรเยลลี่ที่ใช้น้ำตาลฟรุคโตสเป็นสารให้ความหวานจะมีความแข็งมากกว่าสูตรเยลลี่ที่ใช้น้ำตาลซูโครส เนื่องจากน้ำตาลฟรุคโตสมีความหวานมากกว่าน้ำตาลซูโครส 2 เท่า จึงใช้ในปริมาณที่น้อยกว่า อีกทั้งน้ำตาลฟรุคโตสเป็นน้ำตาลโมเลกุลเชิงเดี่ยว ทำให้มวลโมเลกุลน้อยกว่า แต่ต้องเคี้ยวนานกว่าเพื่อให้ได้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 55 องศาบริกซ์ซึ่งเท่ากับสูตรเยลลี่ต้นแบบที่ใช้น้ำตาลซูโครส ทำให้ปริมาณน้ำในองค์ประกอบเยลลี่น้อยลง จึงมีความแข็งเพิ่มขึ้น รวมทั้งน้ำตาลต่างชนิดกันจะมีผลต่อแรง HI ต่างกัน โดยขึ้นกับโครงสร้าง 3 มิติของน้ำตาลที่เข้าไปทำปฏิกิริยากับน้ำซึ่งล้อมรอบหมู่เมทิล หากระยะห่างระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของน้ำและน้ำตาลมีค่าใกล้เคียง 4.36 องศา จะสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดแรง HI ได้มาก (Oakenfull และ Smith, 1984) ความแข็งของเจลจึงเพิ่มขึ้น

ในการปรับปรุงรสชาติของเยลลี่โดยใช้น้ำตาลฟรุคโตส พบว่าสามารถเกิดเจลได้ในช่วง pH 2.35-2.44 มีช่วงความเข้มข้นของน้ำตาลโดยดูจากค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 55-55.3 องศาบริกซ์ สอดคล้องกับผลการทดลองของอุไรรัช บุรณะคงคาตรี (2538) โดยเกิดเจลซึ่งใช้น้ำตาลฟรุคโตส ที่ช่วง pH 2.0-3.0 และความเข้มข้นของน้ำตาล 50-70 องศาบริกซ์

จะเห็นได้ว่าการเกิดเจลซึ่งใช้เพกตินเมทอกซีสูง มีช่วงความเข้มข้นของน้ำตาลและ pH ที่เหมาะสมในการเกิดเจลแตกต่างกัน หากต้องการผลิตภัณฑ์อาหารเจลที่มีรสชาติเปรี้ยวจัดหรือ

หวานจัดสามารถใช้น้ำตาลซูโครสและน้ำตาลฟรุกโตส ในการเตรียมเจลได้ เนื่องจากสามารถเกิดเจลได้ในช่วง pH ต่ำ (2.0-3.0) และช่วงความเข้มข้นของน้ำตาล 50-70 องศาบริกซ์

ในด้านการปรับปรุงความหวานของเยลลี่ แม้จะมีใช้น้ำตาลฟรุกโตสแทนน้ำตาลซูโครส เพื่อหวังผลในแง่การลดปริมาณแคลอรีของเยลลี่ แต่สูตรเยลลี่ที่ใช้น้ำตาลซูโครสได้รับความนิยมจากผู้ทดสอบมากกว่า แต่ในทางสถิติพบว่าคะแนนความชอบในทุกๆ ด้าน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ระหว่างเยลลี่ที่ใช้น้ำตาลฟรุกโตส และเยลลี่ที่ใช้น้ำตาลซูโครส

จะเห็นได้ว่าสูตรอาหารฟังก์ชันในรูปแบบเครื่องดื่มมะขามผงฟูและเยลลี่มะขามในการวิจัยเป็นการพัฒนาในด้านการปรับส่วนผสมประกอบพื้นฐานของสูตรตำรับ ดังนั้นอาจมีการวิจัยเพิ่มเติม สำหรับเครื่องดื่มมะขามผงฟู อาจมีการเติมสารช่วยต่าง ๆ ในตำรับเพิ่มเติม เพื่อลดการดูดความชื้น หรือสามารถตกเป็นเม็ดฟู ซึ่งเป็นอีกรูปแบบหนึ่งที่น่าสนใจและสร้างแรงดึงดูดต่อผู้บริโภค สำหรับผลิตภัณฑ์เยลลี่ อาจมีการปรับเปลี่ยนสารก่อเจลเป็นชนิดอื่นๆ เพื่อพัฒนาลักษณะทางกายภาพของเยลลี่ให้ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่มีในท้องตลาดต่อไป นอกจากนี้การนำผลิตภัณฑ์ไปทดสอบผลด้านการช่วยระบายหรือประโยชน์ของมะขามด้านต่างๆ เพิ่มเติมในผู้บริโภคจริง จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้นนี้ใช้ประโยชน์ได้ตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยต่อไป

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย

พันธุ์มะขามที่ใช้ในการศึกษา เป็นมะขามเปรี้ยวยักษ์พันธุ์โคราช เนื่องจากมีความเปรี้ยวสูง ในการทดลองใช้ส่วนเนื้อของผลแก่ของมะขาม เก็บจากสวนมะขามคุณพระนอม คงสมภักตร์ บ้านเลขที่ 134 ม.2 ต.โป่งตาลอง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา เมื่อเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551

ผงมะขามได้จากการทำแห้งแบบพ่น โดยพบว่าการนำน้ำมะขามเข้มข้นผสมอลโต เด็กซ์ตรินร้อยละ 40 ของน้ำหนักน้ำมะขาม เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมในการนำมาพ่นแห้ง ทำให้ได้ผงมะขามที่มีลักษณะดี แห้งร่วน ความชื้นต่ำ เหมาะสมต่อการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มมะขามผงฟูและเยลลี่มะขามต่อไป

ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มมะขามผงฟูเตรียมโดยนำผงมะขามที่ผลิตได้มาพัฒนาเป็นเครื่องดื่มมะขามผงฟู โดยสูตรที่ใช้มะขามผง 3.75 กรัม โซเดียมไบคาร์บอเนต 0.26 กรัม กรดซิตริก 0.13 กรัม น้ำตาล 4.00 กรัม เป็นสูตรที่มีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีดีที่สุด และได้รับคะแนนการยอมรับมากที่สุดจากผู้ทดสอบ

ผลิตภัณฑ์เยลลี่มะขาม สูตรที่มีส่วนผสมของผงมะขามร้อยละ 6 น้ำตาลซูโครสร้อยละ 40 และเพกตินร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก เป็นสูตรที่มีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีดีที่สุด และได้รับคะแนนการยอมรับมากที่สุดจากผู้ทดสอบ

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กัลยา วาณิชย์บัญชา. 2540. การวิเคราะห์สถิติ: สถิติเพื่อการตัดสินใจ. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ขวัญเรือน ยิ้มพิมพ์ใจ. 2548. การศึกษาคอนสุมป์ติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของเนื้อมะขามหวานพันธุ์ต่างๆ และมะขามเปรี้ยว. วิทยานิพนธ์ สาขาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ขวัญตา ณัฐชยางกุล. 2546. การเปรียบเทียบคุณภาพของนมถั่วเหลืองผงคั้นรูปที่ได้จากการอบแห้งโดยใช้เทคนิคแบบพ่นฝอย แบบพ่นกระจายโฟม และแบบเยือกแข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต. ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- คัทลียา ลีวงศ์พันธ์ และ นลินา เล้าเรื่องศิลป์ชัย. 2547. การวิเคราะห์กรดแลคติกในสารสกัดมะขามป้อมด้วยวิธีไฮเปอร์ฟอร์แมนซ์ลิควิดโครมาโทกราฟีที่ผ่านการตรวจสอบความถูกต้อง. วิทยานิพนธ์ สาขาเภสัชเคมี คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จันคนา บุรณะโอสถ. 2536. ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการจับของยากับพลาสมาโปรตีนและความถูกต้องของวิธีการแยกพลาสมาโปรตีนในการวิเคราะห์หาปริมาณยาในพลาสมาโดยไฮเปอร์ฟอร์แมนซ์ลิควิดโครมาโทกราฟี. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต ภาควิชาเภสัชเคมี คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชูศักดิ์ สัจจพงษ์. 2550. มะขามพีชสร้างอนาคต. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มติชน.
- ณัชชา ผลศรีธธา และ พรจิตร เขี่ยมอุไร. 2544. การพัฒนาตำรับยาขับลมฆ่าชนิดผงฟู. วิทยานิพนธ์ สาขาเภสัชอุตสาหกรรม คณะเภสัชศาสตร์.
- ดวงสมร ลิ้มปิติ. 2545. HPLC: ทฤษฎี เครื่องมือ และการประยุกต์ใช้ในงานวิเคราะห์ยา. เชียงใหม่: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ทัดทรง ท้วททิพย์. 2534. ยาเม็ด. กรุงเทพมหานคร: โอ เอส พรีนติ้ง เฮ้าส์.
- ปวลี วงษ์มา. 2542. การผลิตน้ำเชื่อมมะขามด้วยเพคตินเนสและเซลลูเลสสำหรับใช้เป็นเครื่องดื่มน้ำมะขามอัดแก๊ส. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปิ่นมณี ขวัญเมือง. 2548. ฟังก์ชันนัลฟู๊ดส์: อาหารเพื่อสุขภาพ. วารสารครุศาสตร์อุตสาหกรรม 4(2):44-50

- เป่าวี คงสุนทรกิจกุล. 2548. ผลของสารช่วยทำแห้งและสภาวะทำแห้งต่อสมบัติผลิตภัณฑ์ผง ในการผลิตมะขามผงโดยเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- พรรคัดดี ศรีอมรรค์กดี. 2547. แนวทางการตั้งตำรับยาในรูปแบบพองฟู. วารสารไทยโภชนาการ 1(2):11-19.
- พเยาว์ เหมือนวงษ์ญาติ. 2534. คู่มือการใช้สมุนไพร. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ เมดิคัล มีเดีย. พัชรวิวรรณ ผึ้งนิล, ประสพโชค พวงสอาด และ รัชนก เพ็ญพวง. 2544. พาราเซตามอลเม็ดฟู. วิทยานิพนธ์ สาขาเภสัชอุตสาหกรรม คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พัชรินทร์ ธนกิจโกเศชชัฐ และ เรณู มทนางกูร. 2548. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เจลลี่นมสดพื้กทองและถั่วแดงหลวง. วิทยานิพนธ์ สาขาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เพียง อุดมเกียรติกุล. 2534. การเตรียมสีผสมอาหารชนิดผงจากธรรมชาติโดยวิธีสเปรย์ดราย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาอาหารเคมี คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ไพโรจน์ วิริยจारी. 2535. วิธีทางอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม. เชียงใหม่: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ภูมิพิชญ์ สุขาวรรณ. 2535. พืชสมุนไพรใช้เป็นยา. กรุงเทพมหานคร: อักษรภาพิพัฒนา.
- มาโนช วามานนท์ และ เพ็ญนภา ททรัพย์เจริญ. 2538. ผักพื้นบ้าน. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์องค์การ สงเคราะห์ทหารผ่านศึก.
- เววดี ธรรมอุปกรณ์, ธิตีรัตน์ ปานม่วง และ สุนันท์ พงษ์สามารถ. 2532. การใช้สารคล้ายเพคตินจากเปลือกทุเรียนในยาเตรียมและอาหารสำเร็จรูป. รายงานวิจัย คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิทย์ เทียงบุรณธรรม. 2531. พจนานุกรมสมุนไพรไทย. กรุงเทพมหานคร: โอ เอส พริ้นติ้ง เฮ้าส์.
- วีระวิทย์ ปองเปี่ยม. 2547. การผลิตน้ำมะตูมผงโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย. วิทยานิพนธ์ สาขาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- วิโรจน์ ชัยพรโกคิน. 2008. การวิเคราะห์หาปริมาณกรดอินทรีย์ในน้ำสกัดมะขามและการเตรียมผงมะขาม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาชีวเคมี คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สาธาณสุข, กระทรวง. 2543. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 213 เรื่อง แยม เยลลี่ และมาร์มาเลด ในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท. นนทบุรี: กระทรวงสาธารณสุข.

- สาธารณสุข, กระทรวง. 2543. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 214 เรื่อง เครื่องดื่มใน ภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท. นนทบุรี: กระทรวงสาธารณสุข.
- แสนพล ถิ่นมธุรส. 2532. ผลของตัวแปรบางชนิดที่มีต่อคุณภาพของมะขามในระหว่างการเก็บและ การทำแห้งภายใต้สุญญากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทาง อาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุกัญญา ธนพัฒน์กุล, พันทิพา ศิริธเนศ และสุชาดา ม่วงไหม. 2544. การผลิตมะขามผงโดยใช้ เครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศและเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุน. วิทยานิพนธ์ สาขาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สุนทร วราอุบล. 2537. การทำแห้งน้ำมะนาวแบบเยือกแข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุเมธ ตันตระเชียร, ปราณิ จิระกิตติเจริญ, รัชสิมา ธรรมวิริยานนท์ และ ศจีพร ธรรมสระ. 2548. การทำผงรสไก่อจากน้ำนิ่งไก่อโดยการทำแห้งแบบพ่นกระจาย. วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์ 4: 203-210.
- ศิวพร ศิวเวชช. 2546. วัตถุดิบอาหาร. เล่ม 1. นครปฐม: โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรม การเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.
- ศรีสุวรรณ อุทอนผล, ศุภลักษณ์ บัณฑิตกุล และ มีนา บุญญาภิรัตน์. 2531. การใช้ gum ชนิดต่างๆ ในการทำผลิตภัณฑ์ jelly. วิทยานิพนธ์ สาขาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อุตสาหกรรม, กระทรวง. 2549. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน: มะขามผงสำเร็จรูป. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงอุตสาหกรรม.
- อุไรรัช บุรณะคงคาตรี. 2538. ผลของ pH ความเข้มข้นและชนิดน้ำตาลต่อความแข็งแรงของเจล เพกตินชนิดเมทอกซีสูง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อรอนงค์ กังสดาลอำไพ. 2542. โภชนบำบัด 2000. กรุงเทพมหานคร: มาจดลองคุณ.

ภาษาอังกฤษ

- Anasuya, A. and Sasikala, M. 1989. Tartaric acid inhibits urinary stone formation in rat. Nutrition Research 9,5: 575-580.
- Anasuya, A. and Sasikala, M. 1990. Tamarind ingestion and lithogenic properties of urine: study in men. Nutrition Research 10,1: 1109-1117.
- Acoata, O., Viquez, F. and Cubero, E. 2008. Optimisation of low calorie mixed fruit jelly by response surface methodology. Food Quality and Preference 19: 79-85.
- Aspinall, G.O. 1980. Chemistry of cell wall polysaccharides. The Biochemistry of Plants. New York: Academic Press.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2000. Official Method of Analysis of the Association of official analytical chemists. 17th edition, Maryland.
- Bangs, W. E. and Reineccius, G.A. 1981. Influence of dryer infeed matrices on the retention of volatile flavour compounds during spray drying. Journal of Food Science. 47: 254-259.
- Bemiller, J. N. 1986. An introduction to pectins: structure and properties. In Fishmand, M. L. and Jen, J. J. (eds.), Characterization of pectins, pp 2-7. The United State of American: Am. Chem. Soc.
- Bender, A. E. 1978. Food processing and nutrition. London: Academic press.
- Bender, W. A. 1959. Pectin. In Whistler, R. L. (ed.), Industrial gums polysaccharide and their derivatives, pp.410. New York: Academic press.
- Bertuzzi, G. 2005. Effervescent granulation. In D. M. Parikh, Handbook of pharmaceutical granulation technology, pp.365-383. The United State of American: Taylor & Francis.
- Crandall, P. G. and Wicker, L. 1986. Pectin Substances in fresh and preserved fruits and vegetables. In Fishmand, M. L. and Jen, J. J. (eds.), Characterization of pectins, pp 89-90. The United State of American: Am. Chem. Soc.
- Doesburg, J. J. 1965. Pectin substances in fresh and preserved fruits and vegetable. Wageningen: Institute for research on storage and processing of horticultural produce IBVT communication. pp 32-33.

- Farnsworth, N. R. and Bunyapraphatsara, N. 1992. Thai Medicinal plants. Thailand: Medicinal plant and information center : Mahidol university. pp.237-241.
- Feungchan, S., Yimsawat, T., and Kitpowsong, P. 1996. Evaluation of tamarind cultivars on the chemical composition of pulp. Thai Journal of Agricultural Science 1: 28-33.
- Fellows, P. 1990. Food processing technology. England: Ellis Horwood.
- Gomis, D. B. 1992. HPLC analysis of organic acids. In Nollet, L. M. L, Food and analysis by HPLC, pp.371-385. The United State of American: Marcel dekker.
- Hansa, J. D. 2008. Effervescent Food Products. United States: The Quaker Oats.
- Hasan, S.K. and Ijaz, S. 1972. Tamarind. Science Industry (Karachi) 9: 131-137.
- Jongen, W. 2002. Fruit and vegetable processing. England: Woodhead publishing.
- Joseph, K. C., Parekh, B. B. and Joshi, M.J. 2005. Inhibition of growth of urinary type calcium hydrogen phosphate dihydrate crystals by tartaric acid and tamarind. Current Science 88(8):1232-1238.
- Kertesz, Z. I. 1951. Some properties of pectin substance. The pectin Substances. New York: John Wiley & Sons.
- Khandare, A. L., Kumar, U., Shanker, R.G., Venkaiah, K. and Lakshmaiah, N. 2004. Additional beneficial effect of tamarind ingestion over defluoridated water supply to adolescent boys in a fluorotic area. Nutrition 20: 433-436.
- Kopelman, I. J., Meydav, S. and Weinberg, S. 1977a. Storage studies of freeze dried lemon crystals. Journal of Food Technology. 12: 403-410.
- Kopelman, I. J., Meydav, S. and Wilmersdorf, P. 1977b. Freeze drying encapsulation of water soluble citrus aroma. Journal of Food Technology. 12: 65-72
- Lee, P. L., Swords, G. and Hunter, G. L. K. 1975. Volatile constituents of tamarind. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 23: 1195-1199.
- Macewan, P. 1953. Pharmaceutical formulas. London: The chemist and druggist. pp. 131-145.
- Martinello, F., Soares, S. M., Franco, J. J., Santos, A. C., Sugohara, A., Garcia, S. B., et al. 2006. Hypolipemic and antioxidant activities from *Tamarindus indica* L. pulp fruit

- extracts in hypercholesterolemic hamsters. Food and Chemical Toxicology 44: 810-818.
- Marydele, J. N. 2001. The merck index. 13th ed. The United State of American: Merck & Co.
- Mercati, V. 2008. Effervescent compositions containing dried fruit juices. Aboca: Societa' Agricola S. p. A..
- Nawawi, S. A. and Heikel, Y.A. 1997. Factors affecting gelation of high-ester citrus pectin. Process Biochemistry 32(5): 381-385.
- Oakenfull, D. G. 1987. Gelling agents. CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition 26(1):1-25.
- Oakenfull, D. G. and Scott, A.G. 1984. Hydrophobic interaction in the gelation of high methoxyl pectins. Journal of food science 49: 1093-1098.
- Pancoast, H. M. and Junk, R. A. 1980. Handbook of sugar. 2nd ed. Westport Connecticut: The AVI publishing.
- Royer, G., Madieta, E., Symoneaux, R. and Jourjon, F. 2006. Preliminary study of the production of apple pomace and quince jelly. LWT 39: 1022-1025.
- Rouse, A. H. 1977. Pectin:Distribution,Significance. In Negy, S., Shaw, P.E. and Veldhuis, M. K.(eds.), Citrus science and techology, pp 111. Westport Connecticut: The AVI publishing.
- Rulkens, W. H. and Thijseen, H. A. C. 1972. Retention of volatile compounds in freeze drying slab maltodextrin. Journal of Food Technology. 7(1): 79-93.
- Sikorski, Z, E. 2007. Chemical and functional properties of food components. 3rd ed. New york: CRC Press.
- Shri, Y. R., et al. 1976. The wealth of India. New Delhi: Pulbication and Information Directorate. pp.114-122.
- Spiller, G. A., Story, J. A., Furumoto, E. J., Chezem, J. C. and Spiller, M. 2003. Effect of tartaric acid and dietary fiber from sun-dried raisins on colonic function and on bile acid and volatile fatty acid excretion in healthy adults. British Journal of Nutrition 90: 803-807.

The United States Pharmacopoeia . 2005. The National Formulary 23, pp. 2748-2751.

Canada: Webcom.

Ulrich, R. 1970. Organic acids. In Hulme, A.C. (ed.), The biochemistry of fruits and their products. Vol. 1, pp.89-118. New York: Academic Press.

Wade, A. and Weller, P. J. 1994. Handbook of pharmaceutical excipients. 2nd ed. London: American pharmaceutical association.

Walkinshaw, M. D. and Arnott. S. 1981. Conformations and interactions of pectins: models of junction zones in pectinic and calcium pectate gels. Journal of Molecular Biological 153: 1075-1085.

World Health Organization. 1974. Toxicological evaluation of some food additives including anticaking agents, antimicrobials, antioxidants, emulsifiers and thickening agents. The Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Geneva: World Health Organization.

Zhanguo, C. and Jiuru, L. 2002. Simultaneous and direct determination of oxalic acid, tartaric acid, malic acid, vitamin c, citric acid and succinic acid in *fructus mume* by reversed-phase high performance liquid chromatograph. Journal of Chromatographic Science 40:35-39.

ภาคผนวก

3. กลิ่นของน้ำมะขาม (กลิ่นหอมมะขาม)

รหัสผลิตภัณฑ์	ชอบมากที่สุด →			← ไม่ชอบมากที่สุด	
	5	4	3	2	1

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4. รสชาติของน้ำมะขาม (เปรี้ยว หวาน เค็ม กลมกล่อม)

รหัสผลิตภัณฑ์	ชอบมากที่สุด →			← ไม่ชอบมากที่สุด	
	5	4	3	2	1

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5. ลักษณะการเกิดฟองของน้ำมะขาม

รหัสผลิตภัณฑ์	ชอบมากที่สุด →			← ไม่ชอบมากที่สุด	
	5	4	3	2	1

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

.....

.....

.....

.....

.....

.....

6. ความชอบโดยรวมของน้ำมะขาม (ลักษณะของผลิตภัณฑ์โดยรวม สีและลักษณะที่ปรากฏภายนอก กลิ่น รสชาติ ลักษณะการเกิดฟอง)

รหัสผลิตภัณฑ์	ชอบมากที่สุด \longrightarrow ไม่ชอบมากที่สุด					ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม
	5	4	3	2	1	

กรุณาเรียงลำดับความชอบของท่านในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มมะขามผงฟู โดยชอบมากที่สุดเป็นลำดับที่ 5 และตัวอย่างที่ท่านชอบน้อยที่สุดเป็นลำดับที่ 1

รหัสตัวอย่าง	ลำดับความชอบ

ขอขอบคุณที่ให้ความร่วมมือ

ภาคผนวก ข

ผลการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของเครื่องตีมะขามผงฟู

ตารางภาคผนวกที่ ข-1 ความถี่ของคะแนนความชอบในสีและลักษณะที่ปรากฏให้เห็นภายนอกของผงเครื่องตีที่ผู้ชิมให้แก่เครื่องตีมะขามผงฟู

สีและลักษณะที่ปรากฏให้เห็น ภายนอก	ความถี่ของคะแนน*				
	สูตร	สูตร	สูตร	สูตร	สูตร
5 (ชอบมากที่สุด)	0	1 (10)	5 (50)	1 (10)	3 (30)
4 (ชอบ)	0	6 (60)	1 (10)	3 (30)	2 (20)
3 (เฉยๆ)	1 (10)	3 (30)	3 (30)	3 (30)	1 (10)
2 (ไม่ชอบ)	2 (20)	0	1 (10)	3 (30)	4 (40)
1 (ไม่ชอบมากที่สุด)	7 (70)	0	0	0	0

* ค่าในวงเล็บแสดงร้อยละของความถี่

ตารางภาคผนวกที่ ข-2 ความถี่ของคะแนนความชอบในสีและลักษณะที่ปรากฏให้เห็นภายนอกของผงเครื่องตีเมื่อละลายน้ำ ที่ผู้ชิมให้แก่เครื่องตีมะขามผงฟู

สีและลักษณะที่ปรากฏให้เห็น ภายนอก	ความถี่ของคะแนน*				
	สูตร	สูตร	สูตร	สูตร	สูตร
5 (ชอบมากที่สุด)	2 (20)	3 (30)	2 (20)	2 (20)	1 (10)
4 (ชอบ)	4 (40)	5 (50)	3 (30)	4 (40)	4 (40)
3 (เฉยๆ)	2 (20)	1 (10)	4 (40)	2 (20)	2 (20)
2 (ไม่ชอบ)	1 (10)	1 (10)	1 (10)	1 (10)	1 (10)
1 (ไม่ชอบมากที่สุด)	1 (10)	0	0	1 (10)	1 (10)

* ค่าในวงเล็บแสดงร้อยละของความถี่

ตารางภาคผนวกที่ ข-3 ความถี่ของคะแนนความชอบในกลุ่มที่ผู้ชิมให้แก่เครื่องดื่มมะขามผงฟู

สีและลักษณะที่ปรากฏให้เห็น ภายนอก	ความถี่ของคะแนน*				
	สูตร	สูตร	สูตร	สูตร	สูตร
5 (ชอบมากที่สุด)	0	5 (50)	0	2 (20)	1 (10)
4 (ชอบ)	1 (10)	2 (20)	6 (60)	3 (30)	3 (30)
3 (เฉยๆ)	3 (30)	3 (30)	3 (30)	3 (30)	4 (40)
2 (ไม่ชอบ)	4 (40)	0	1 (10)	2 (20)	0
1 (ไม่ชอบมากที่สุด)	2 (20)	0	0	0	2 (20)

* คำนวณวงเล็บแสดงร้อยละของความถี่

ตารางภาคผนวกที่ ข-4 ความถี่ของคะแนนความชอบในรสชาติที่ผู้ชิมให้แก่เครื่องดื่มมะขามผงฟู

สีและลักษณะที่ปรากฏให้เห็น ภายนอก	ความถี่ของคะแนน*				
	สูตร	สูตร	สูตร	สูตร	สูตร
5 (ชอบมากที่สุด)	1 (10)	7 (70)	1 (10)	0	1 (10)
4 (ชอบ)	2 (20)	1 (10)	6 (60)	3 (30)	3 (30)
3 (เฉยๆ)	0	0	3 (30)	2 (20)	4 (40)
2 (ไม่ชอบ)	2 (20)	2 (20)	0	2 (20)	0
1 (ไม่ชอบมากที่สุด)	5 (50)	0	0	3 (30)	2 (20)

* คำนวณวงเล็บแสดงร้อยละของความถี่

ตารางภาคผนวกที่ ข-5 ความถี่ของคะแนนความชอบในลักษณะการเกิดฟองที่ผู้ชิมให้แก่เครื่องดื่ม
มะขามผงฟู

สีและลักษณะที่ปรากฏให้เห็น ภายนอก	ความถี่ของคะแนน*				
	สูตร	สูตร	สูตร	สูตร	สูตร
5 (ชอบมากที่สุด)	0	3 (30)	3 (30)	0	0
4 (ชอบ)	2 (20)	4 (40)	2 (20)	2 (20)	2 (20)
3 (เฉยๆ)	2 (20)	0	3 (30)	4 (40)	5 (50)
2 (ไม่ชอบ)	3 (30)	2 (20)	2 (20)	3 (30)	2 (20)
1 (ไม่ชอบมากที่สุด)	3 (30)	1 (10)	0	1 (10)	1 (10)

* ค่าในวงเล็บแสดงร้อยละของความถี่

ตารางภาคผนวกที่ ข-6 ความถี่ของคะแนนความชอบในความชอบโดยรวมที่ผู้ชิมให้แก่เครื่องดื่ม
มะขามผงฟู

สีและลักษณะที่ปรากฏให้เห็น ภายนอก	ความถี่ของคะแนน				
	สูตร	สูตร	สูตร	สูตร	สูตร
5 (ชอบมากที่สุด)	0	5 (50)	3 (30)	0	1 (10)
4 (ชอบ)	1 (10)	3 (30)	4 (40)	2 (20)	3 (30)
3 (เฉยๆ)	1 (10)	1 (10)	3 (30)	7 (70)	2 (20)
2 (ไม่ชอบ)	3 (30)	1 (10)	0	0	3 (30)
1 (ไม่ชอบมากที่สุด)	5 (50)	0	0	1 (10)	1 (10)

* ค่าในวงเล็บแสดงร้อยละของความถี่

ตารางผนวกที่ ข-7 การวิเคราะห์การแจกแจงของคะแนนความชอบในด้านต่างๆที่ผู้ชิมให้แก่ เครื่องดื่มมะขามผงฟู(N=10)

การประเมินทางประสาทสัมผัส	F	p
สีและลักษณะที่ปรากฏให้เห็นภายนอกของ ผงเครื่องดื่ม	12.209	0.001
สีและลักษณะที่ปรากฏให้เห็นภายนอกของ ผงเครื่องดื่มเมื่อละลายน้ำแล้ว	0.633	0.642
กลิ่นของผลิตภัณฑ์	4.757	0.003
รสชาติของผลิตภัณฑ์	4.847	0.002
ลักษณะการเกิดฟอง	2.573	0.050
ความชอบโดยรวม	9.057	0.001

*ค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบในรสชาติแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ

95

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบในสีและลักษณะที่ปรากฏให้เห็นภายนอกของ ผงเครื่องดื่ม ที่ผู้ชิมให้แก่เครื่องดื่มมะขามผงฟูต่าง ๆ กัน

สูตร	1	8	7	6	9
ค่าเฉลี่ยคะแนน**	<u>1.40</u>	<u>2.20</u>	<u>4.00</u>	<u>3.80</u>	<u>3.40</u>

**ค่าเฉลี่ยที่ขีดเส้นใต้ต่อกันแสดงว่า ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบในสีและลักษณะที่ปรากฏให้เห็นภายนอกของ ผงเครื่องดื่มเมื่อละลายน้ำแล้ว ที่ผู้ชิมให้แก่เครื่องดื่มมะขามผงฟูต่าง ๆ กัน

สูตร	1	8	7	6	9
ค่าเฉลี่ยคะแนน**	<u>3.50</u>	<u>4.00</u>	<u>3.60</u>	<u>3.50</u>	<u>3.20</u>

**ค่าเฉลี่ยที่ขีดเส้นใต้ต่อกันแสดงว่า ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบในกลุ่มของผลิตภัณฑ์ ที่ผู้ชิมให้แก่เครื่องดื่มมะขามผงฟูต่างๆกัน

สูตร	1	9	7	8	6
ค่าเฉลี่ยคะแนน**	<u>2.30</u>	<u>3.10</u>	<u>3.50</u>	<u>3.50</u>	<u>4.20</u>

**ค่าเฉลี่ยที่ขีดเส้นใต้ต่อกันแสดงว่า ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบในรสชาติ ที่ผู้ชิมให้แก่เครื่องดื่มมะขามผงฟูต่างๆกัน

สูตร	1	8	9	7	6
ค่าเฉลี่ยคะแนน**	<u>2.20</u>	<u>2.50</u>	<u>2.90</u>	<u>3.80</u>	<u>4.30</u>

**ค่าเฉลี่ยที่ขีดเส้นใต้ต่อกันแสดงว่า ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบลักษณะการเกิดฟอง ที่ผู้ชิมให้แก่เครื่องดื่มมะขามผงฟูต่างๆกัน

สูตร	1	8	9	6	7
ค่าเฉลี่ยคะแนน**	<u>2.30</u>	<u>2.70</u>	<u>2.80</u>	<u>3.60</u>	<u>3.60</u>

**ค่าเฉลี่ยที่ขีดเส้นใต้ต่อกันแสดงว่า ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบโดยรวม ที่ผู้ชิมให้แก่เครื่องดื่มมะขามผงฟู
ต่าง ๆ กัน

สูตร	1	8	9	7	6
ค่าเฉลี่ยคะแนน**	1.50	<u>2.60</u>	<u>3.00</u>	<u>3.60</u>	<u>4.30</u>

**ค่าเฉลี่ยที่ขีดเส้นใต้ต่อกันแสดงว่า ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น
ร้อยละ 95

3. รสชาติของผลิตภัณฑ์ (เปรี้ยว หวาน เค็ม กลมกล่อม)

รหัสผลิตภัณฑ์	ชอบมากที่สุด \longrightarrow ไม่ชอบมากที่สุด				
	5	4	3	2	1

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

.....

4. เนื้อสัมผัสขณะรับประทาน (ความอ่อนนุ่ม ความสากลิ้น ความเหนียว)

รหัสผลิตภัณฑ์	ชอบมากที่สุด \longrightarrow ไม่ชอบมากที่สุด				
	5	4	3	2	1

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

.....

5. รอยตัดเยลลี่ด้วยช้อนหรือมีด (ความเรียบคมของรอยตัด ไม่เหนียวติดช้อนหรือมีด)

รหัสผลิตภัณฑ์	ชอบมากที่สุด \longrightarrow ไม่ชอบมากที่สุด				
	5	4	3	2	1

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

.....

6. ความชอบโดยรวม (ลักษณะของผลิตภัณฑ์โดยรวม สีและลักษณะที่ปรากฏภายนอก กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส รอยตัดด้วยช้อนหรือมีด)

รหัสผลิตภัณฑ์	ชอบมากที่สุด \longrightarrow ไม่ชอบมากที่สุด					ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม
	5	4	3	2	1	
					
					
					
					
					
					

กรุณาเรียงลำดับความชอบของท่านในผลิตภัณฑ์เยลลี่มะขาม โดยชอบมากที่สุด เป็นลำดับที่ 5 และตัวอย่างที่ท่านชอบน้อยที่สุดเป็นลำดับที่ 1

รหัสตัวอย่าง	ลำดับความชอบ

ขอขอบคุณที่ให้ความร่วมมือ

ภาคผนวก ง

ผลการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของเยลลี่มะขาม

ตารางภาคผนวกที่ ง-1 ความถี่ของคะแนนความชอบในสีและลักษณะที่ปรากฏให้เห็นภายนอก
ที่ผู้ชิมให้แก่เยลลี่

สีและลักษณะที่ปรากฏให้เห็นภายนอก	ความถี่ของคะแนน*			
	สูตร 8	สูตร 14	สูตร 30	สูตร 31
5 (ชอบมากที่สุด)	5 (50)	4 (40)	1 (10)	3 (30)
4 (ชอบ)	1 (10)	2 (20)	1 (10)	4 (40)
3 (เฉยๆ)	3 (30)	4 (40)	2 (20)	2 (20)
2 (ไม่ชอบ)	1 (10)	0	6 (60)	1 (10)
1 (ไม่ชอบมากที่สุด)	0	0	0	0

* คำนวณวงเล็บแสดงร้อยละของความถี่

ตารางภาคผนวกที่ ง-2 ความถี่ของคะแนนความชอบในกลิ่นที่ผู้ชิมให้แก่เยลลี่

สีและลักษณะที่ปรากฏให้เห็นภายนอก	ความถี่ของคะแนน*			
	สูตร 8	สูตร 14	สูตร 30	สูตร 31
5 (ชอบมากที่สุด)	2 (20)	2 (20)	4 (40)	3 (30)
4 (ชอบ)	1 (10)	2 (20)	4 (40)	5 (50)
3 (เฉยๆ)	6 (60)	4 (40)	1 (10)	1 (10)
2 (ไม่ชอบ)	1 (1)	2 (20)	1(10)	0 95
1 (ไม่ชอบมากที่สุด)	0	0	0	1 (10)

* คำนวณวงเล็บแสดงร้อยละของความถี่

ตารางภาคผนวกที่ ง-3 ความถี่ของคะแนนความชอบในรสชาติที่ผู้ชิมให้แก่เยลลี่

สีและลักษณะที่ปรากฏให้เห็นภายนอก	ความถี่ของคะแนน*			
	สูตร 8	สูตร 14	สูตร 30	สูตร 31
5 (ชอบมากที่สุด)	3 (30)	2 (20)	2 (20)	3 (30)
4 (ชอบ)	4 (40)	6 (60)	1 (10)	4 (40)
3 (เฉยๆ)	3 (30)	2 (20)	3 (30)	1 (10)
2 (ไม่ชอบ)	0	0	4 (40)	2 (20)
1 (ไม่ชอบมากที่สุด)	0	0	0	0

* ค่าในวงเล็บแสดงร้อยละของความถี่

ตารางภาคผนวกที่ ง-4 ความถี่ของคะแนนความชอบในเนื้อสัมผัสขณะรับประทานที่ผู้ชิมให้แก่เยลลี่

สีและลักษณะที่ปรากฏให้เห็นภายนอก	ความถี่ของคะแนน*			
	สูตร 8	สูตร 14	สูตร 30	สูตร 31
5 (ชอบมากที่สุด)	5 (50)	5 (50)	1 (10)	0
4 (ชอบ)	1 (10)	3 (30)	4 (40)	7 (70)
3 (เฉยๆ)	4 (40)	1 (10)	1 (10)	2 (20)
2 (ไม่ชอบ)	0	1 (10)	3 (30)	1 (10)
1 (ไม่ชอบมากที่สุด)	0	0	1 (10)	0

* ค่าในวงเล็บแสดงร้อยละของความถี่

ตารางภาคผนวกที่ ง-5 ความถี่ของคะแนนความชอบในรอบตัดด้วยข้อที่ผู้ชมให้แก่เฉลี่ย

สีและลักษณะที่ปรากฏให้เห็นภายนอก	ความถี่ของคะแนน*			
	สูตร 8	สูตร 14	สูตร 30	สูตร 31
5 (ชอบมากที่สุด)	2 (20)	2 (20)	3 (30)	2 (20)
4 (ชอบ)	6 (60)	5 (50)	2 (20)	4 (40)
3 (เฉยๆ)	1 (10)	2 (20)	0	4 (40)
2 (ไม่ชอบ)	1 (10)	1 (10)	5 (50)	0
1 (ไม่ชอบมากที่สุด)	0	0	0	0

* ค่าในวงเล็บแสดงร้อยละของความถี่

ตารางภาคผนวกที่ ง-6 ความถี่ของคะแนนความชอบในความชอบโดยรวมที่ผู้ชมให้แก่เฉลี่ย

สีและลักษณะที่ปรากฏให้เห็นภายนอก	ความถี่ของคะแนน*			
	สูตร 8	สูตร 14	สูตร 30	สูตร 31
5 (ชอบมากที่สุด)	2 (20)	3 (30)	0	3 (30)
4 (ชอบ)	4 (40)	4 (40)	1 (10)	3 (30)
3 (เฉยๆ)	3 (30)	3 (30)	3 (30)	2 (20)
2 (ไม่ชอบ)	1 (10)	0	5 (50)	2 (20)
1 (ไม่ชอบมากที่สุด)	0	0	1 (10)	0

* ค่าในวงเล็บแสดงร้อยละของความถี่

ตารางผนวกที่ 7- การวิเคราะห์การแจกแจงของคะแนนความชอบในด้านต่างๆที่ผู้ชิมให้แก่เยลลี่ (N =10)

การประเมินทางประสาทสัมผัส	F	p
สีและลักษณะที่ปรากฏให้เห็นภายนอก	3.723	0.020
กลิ่นของผลิตภัณฑ์	1.123	0.353
รสชาติของผลิตภัณฑ์	1.904	0.146
เนื้อสัมผัสขณะรับประทาน	2.444	0.080
รอยตัดเยลลี่ด้วยช้อนหรือมีด	0.691	0.563
ความชอบโดยรวม	5.632	0.003*

*ค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบในรสชาติ แตกต่าง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบในสีและลักษณะที่ปรากฏให้เห็นภายนอก ที่ผู้ชิมให้แก่เยลลี่สูตรต่างๆกัน

สูตร	8	14	31	30
ค่าเฉลี่ยคะแนน**	<u>4.00</u>	<u>4.00</u>	<u>3.90</u>	2.70

**ค่าเฉลี่ยที่ขีดเส้นใต้ต่อกันแสดงว่า ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบในกลิ่น ที่ผู้ชิมให้แก่เยลลี่สูตรต่างๆกัน

สูตร	8	14	30	31
ค่าเฉลี่ยคะแนน**	<u>3.40</u>	<u>3.40</u>	<u>4.10</u>	<u>3.90</u>

**ค่าเฉลี่ยที่ขีดเส้นใต้ต่อกันแสดงว่า ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบในรสชาติ ที่ผู้ชิมให้แก่เยลลี่สูตรต่างๆกัน

สูตร	8	14	30	31
ค่าเฉลี่ยคะแนน**	4.00	4.00	3.10	3.80

**ค่าเฉลี่ยที่ขีดเส้นใต้ต่อกันแสดงว่า ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบในเนื้อสัมผัสขณะรับประทาน ที่ผู้ชิมให้แก่เยลลี่สูตรต่างๆกัน

สูตร	8	14	31	30
ค่าเฉลี่ยคะแนน**	4.10	4.20	3.60	3.10

**ค่าเฉลี่ยที่ขีดเส้นใต้ต่อกันแสดงว่า ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบในลักษณะของรอยตัดเยลลี่ด้วยช้อน ที่ผู้ชิมให้แก่เยลลี่สูตรต่างๆกัน

สูตร	8	14	30	31
ค่าเฉลี่ยคะแนน**	3.90	3.80	3.30	3.80

**ค่าเฉลี่ยที่ขีดเส้นใต้ต่อกันแสดงว่า ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบโดยรวม ที่ผู้ชมให้แก่เฉลี่ยสูตรต่างๆกัน

สูตร	8	14	31	30
ค่าเฉลี่ยคะแนน**	3.70	4.00	3.70	2.40

**ค่าเฉลี่ยที่ขีดเส้นใต้ต่อกันแสดงว่า ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ภาคผนวก จ

วิธีการวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา

การวิเคราะห์ทำในลักษณะที่ปราศจากเชื้อ (aseptic technique) เตรียมจานเพาะเชื้อ (Petri dishes) ชนิดแก้ว ปิเปิดขนาด 1 และ 10 มิลลิลิตร โดยนำไปอบฆ่าเชื้อในตู้อบไฟฟ้า (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ต่อไป

1. การวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count)

- 1.1 เตรียมตัวอย่างโดยชั่งผงมะขาม 10 กรัม ละลายในน้ำ 100 มิลลิลิตร จะได้ตัวอย่างความเจือจางเท่ากับ 1:10 (10^{-1})
- 1.2 เจือจางตัวอย่าง ใช้ปิเปิดดูดตัวอย่างปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในสารละลายเปปโตน ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ปริมาตร 9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จะได้ตัวอย่างความเจือจางเท่ากับ 1:100 (10^{-2})
- 1.3 ปิเปิดตัวอย่างที่เจือจางเป็น 1:100 จากข้อ 1.2 ปริมาตร 1 มิลลิลิตรใส่ในสารละลายเปปโตนความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ปริมาตร 9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จะได้ตัวอย่างความเจือจางเท่ากับ 1:1000 (10^{-3})
- 1.4 ปิเปิดตัวอย่างที่ถูกเจือจางเป็นความเจือจางต่างๆ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในจานเพาะเชื้อ ความเจือจางละ 2 จาน
- 1.5 เทอาหารเลี้ยงเชื้อเพลตเคาต์ อะการ์ (plate count agar) ที่มีอุณหภูมิประมาณ 45-55 องศาเซลเซียส ลงในจานเพาะเชื้อจานละ 15-20 มิลลิลิตร แล้วหมุนจานไปในทิศ 100 เป็นรูปหมายเลขแปด เพื่อให้ตัวอย่างผสมกับอาหารและกระจายไปทั่วจาน แล้วตั้งทิ้งไว้ให้แข็ง
- 1.6 กลับจานเพาะเชื้อแล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง
- 1.7 นับโคโลนีในจานเพาะเชื้อโดยเลือกจานที่มีโคโลนีประมาณ 30-300 โคโลนี
- 1.8 หาค่าเฉลี่ยของจำนวนโคโลนีที่นับได้ คูณด้วย dilution factor แล้วรายงานผล โดยรายงานเป็นจำนวนโคโลนี/ กรัม หรือ colony forming unit (CFU/g) ของตัวอย่างผงมะขาม

2. การวิเคราะห์จำนวนยีสต์และรา (yeast and mold count)

วิธีการวิเคราะห์เช่นเดียวกับการหาจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในข้อ 1 แต่เปลี่ยนอาหารเลี้ยงเชื้อจาก เพลตเคาต์อะการ์ เป็น ซาโบราวด์เดกซ์โทรสอะการ์ (sabouraud dextrose agar) หรือ มอลต์

อะการ์ (malt agar) หรือ โปเตโตเดกซ์โทรสอะการ์ (potato dextrose agar) ที่ปรับความเป็นกรดต่างเป็น 3.5 นำไปบเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-5 วัน นับจำนวนโคโลนีในจานเพาะเชื้อ หาค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนีใน 1 จาน และคำนวณค่า CFU ต่อกรัมตัวอย่าง

3. การวิเคราะห์จำนวนแบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมด (total coliform) และ *Escherichia coli*

เตรียมตัวอย่างที่ใช้ทดสอบโดยชั่งผงมะขาม 10 กรัม ละลายในน้ำ 100 กรัม เพื่อนำไปทดสอบต่อไป

3.1. การทดสอบขั้นต้น (presumptive coliform)

3.1.1 ปิเปตตัวอย่าง 10 มิลลิลิตร, 1 มิลลิลิตร และตัวอย่างที่มีความเจือจาง 1:100 มา 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดอาหารเลี้ยงเชื้อแล็กโทสบรอก (lactose broth) ที่มีหลอดดักก๊าซ (durham tube) วางคว่ำอยู่ ตัวอย่างละ 5 หลอด

3.1.2 นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 ± 1 องศาเซลเซียส

3.1.3 อ่านผลการทดลองหลังจากบ่มเชื้อเป็นเวลา 24 ชั่วโมง สังเกตการเจริญจากความขุ่นและและมีก๊าซเกิดขึ้นในหลอดดักก๊าซ

3.1.4 บ่มหลอดที่ไม่ให้ผลบวกต่อไปเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และอ่านผลเช่นเดียวกันอีกครั้ง

3.2 การทดสอบขั้นยืนยัน (confirm test)

3.2.1 ใช้หวงเขียวเชื้อ ถ่ายเชื้อจากหลอดอาหารเลี้ยงเชื้อแล็กโทสบรอก ที่ให้ผลบวกลงในหลอดอาหารเพาะเชื้อบริลลิแอนต์กรีนแล็กโทสไบล์บรอก (brilliant green lactose bile broth) ที่มีหลอดดักก๊าซอยู่หลอดต่อหลอด

3.2.2 นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง หลอดอาหารที่อ่านผลเป็นบวก อาหารเพาะเชื้อจะขุ่นและมีก๊าซเกิดขึ้นในหลอดดักก๊าซ 101

3.2.3 นำค่าหลอดที่ให้ผลบวกจากทุกความเจือจางไปอ่านค่าปริมาณโคลิฟอร์มจากรางเอ็มพีเอ็น จะได้ค่าเอ็มพีเอ็นของโคลิฟอร์มต่อตัวอย่าง 1 กรัม

3.3 การทดสอบขั้นสมบูรณ์ของการวิเคราะห์ *E. coli*

3.3.1 นำหลอดอาหารเพาะเชื้อบริลลิแอนต์กรีนแล็กโทสไบล์บรอก ที่ให้ผลบวกแต่ละหลอดมา streak ลงบนอาหารเพาะเชื้ออีเอ็มบีอะการ์ (eosin methylene blue agar, EMB agar)

3.3.2 บ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.3.3 สังเกตลักษณะโคโลนีของ *E. coli* มีวาวโลหะออกสีเขียวเมื่อสะท้อนแสง (metallic sheen) ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของ *E. coli*

3.3.4 เลือกโคโลนีที่มีลักษณะเฉพาะของ *E. coli* บนอาหารเพาะเชื้อ EMB นำไปทดสอบด้วยชุด IMVIC ดังนี้

3.1.4.1 การทดสอบอินโดล (Indole test)

เพาะโคโลนีลงในอาหารเลี้ยงเชื้อทริปโตเนบรอต ความเข้มข้น ร้อยละ 1 (1% tryptose broth) นำไปบ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เติมนสารละลายโคแควคส์ ปริมาณ 0.2-0.3 มิลลิลิตร ลงในหลอด เขย่าเบาๆ ผลของ *E. coli* คือเกิดชั้นสีแดงด้านบนของอาหารเลี้ยงเชื้อ (ผลบวก)

3.1.4.2 การทดสอบเอ็มอาร์ (methyl red test)

เพาะโคโลนีลงในหลอดอาหารเลี้ยงเชื้อเอ็มอาร์-วีพีบรอต (MR-VP broth) นำไปบ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วเติมนสารละลายเมธิลเรดจำนวน 5 หยด ลงในหลอด เขย่าแรงๆ ผลของ *E. coli* คืออาหารเลี้ยงเชื้อเปลี่ยนเป็นสีแดง (ผลบวก)

3.1.4.3 การทดสอบยวี่พี (voges-proskauer test)

เพาะโคโลนีลงในหลอดอาหารเลี้ยงเชื้อเอ็มอาร์-วีพีบรอต (MR-VP broth) นำไปบ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วเติมนสารละลายแอลฟาแนฟทอลปริมาณ 0.6 มิลลิลิตร และสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 40 ปริมาณ 0.2 มิลลิลิตร ลงในหลอด เขย่าและตั้งทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง ผลของ *E. coli* คือออก 102 เลี้ยงเชื้อไม่เปลี่ยนเป็นสีแดง (ผลลบ)

3.1.4.4 การทดสอบการใช้ซิเตรต (citrate test)

เพาะโคโลนีลงในอาหารเลี้ยงเชื้อซิมมอนส์ซิเตรต อะการ์ Simmon's citrate agar นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ผลของ *E. coli* คืออาหารเลี้ยงเชื้อมีสีเขียวเช่นเดิม (ผลลบ)

4. การวิเคราะห์ *Staphylococcus aureus*

4.1 ใช้ห่วงเช็ยเชื้อ (loop) จุ่มลงในตัวอย่าง แล้วนำมา steak ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ mannitol salt egg yolk (MS-EY) นำไปป่มที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

สังเกตโคโลนีที่มีสีเหลืองล้อมด้วยโซนสีขาวซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของ *S.aureus* หากโคโลนีที่เกิดขึ้น ไม่สามารถบ่งบอกชัดเจนได้ ให้ใช้ loop ถ่ายเชื้อลงในหลอดแก้วที่บรรจุพลาสมาของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม 0.5 มิลลิลิตร นำไปแช่ในเครื่องอังน้ำ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ถ้าพลาสมาไม่มีการจับตัวเป็นก้อนหลังเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง จนถึง 24 ชั่วโมง แสดงว่าไม่มี *S.aureus* ชนิด coagulase positive

ส่วนประกอบและวิธีเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

1. เพลตเคาต์อะการ์ (plate count agar) ประกอบด้วย

tryptone	5.0	กรัม
yeast extract	2.5	กรัม
dextrose	1.0	กรัม
agar	15.0	กรัม

เตรียมโดยการชั่งเพลตเคาต์อะการ์ 23.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ต้มให้ละลายหมด ปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร เทใส่ภาชนะที่เหมาะสม และนำไปฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งอัดไอ อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที

2. ซาโบราว เด็กซ์โทรส อะการ์ (sabouraud dextrose agar) ประกอบด้วย

peptone	10.0	กรัม
dextrose	40.0	กรัม
agar	15.0	กรัม

เตรียมโดยการชั่งซาโบราว เด็กซ์โทรส อะการ์ 65 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ต้มจนละลายหมดและปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร เทใส่ภาชนะที่เหมาะสม ฆ่าเชื้อในเครื่องนึ่งอัดไอ อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที

3. แล็กโทสบรอก (lactose broth) ประกอบด้วย

beef extract	3.0	กรัม
peptone	5.0	กรัม
lactose	5.0	กรัม

เตรียมโดยการชั่งแลคโทสบรอต 13 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร เทใส่ในหลอดแก้วขนาด 16 × 150 มิลลิลิตร หลอดละ 10 มิลลิลิตร และใส่หลอดดักก๊าซ 1 หลอด ในลักษณะคว่ำหลอด นำไปฆ่าเชื้อในเครื่องนึ่งอัดไอ อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที

4. ปริลลิแอนด์กรีนแลคโทสไบล์บรอต (brilliant green lactose bile broth) ประกอบด้วย

peptone	10.0	กรัม
lactose	10.0	กรัม
ox gall	20.0	กรัม
brilliant green	0.0133	กรัม

เตรียมโดยการละลายส่วนผสมในน้ำกลั่น ปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร เทใส่ในหลอดแก้วขนาด 16 × 150 มิลลิลิตร หลอดละ 10 มิลลิลิตร และใส่หลอดดักก๊าซ 1 หลอด ในลักษณะคว่ำหลอด นำไปฆ่าเชื้อในเครื่องนึ่งอัดไอ อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที

5. อีเอ็มบีอะการ์ (eosin methylene blue, EMB agar) ประกอบด้วย

peptone	10.0	กรัม
lactose	5.0	กรัม
sucrose	5.0	กรัม
dipotassium hydrogen phosphate	2.0	กรัม
eosin Y	0.4	กรัม
methylene blue	0.065	กรัม
agar	15.0	กรัม

เตรียมโดยการละลายส่วนผสมในน้ำกลั่น ต้มให้ละลายหมด ปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร เทใส่ภาชนะที่เหมาะสม นำไปฆ่าเชื้อในเครื่องนึ่งอัดไอ อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที เขย่าให้เข้ากันและเทใส่จานเพาะเชื้อ

6. ทริปโตเนบรอตความเข้มข้นร้อยละ 1 (1% tryptone broth) ประกอบด้วย

เตรียมโดยการละลายทริปโตเน 10 กรัมในน้ำกลั่น ปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร เทใส่ในหลอดแก้วขนาด 13 × 100 มิลลิลิตร หลอดละ 3 มิลลิลิตร นำไปฆ่าเชื้อในเครื่องนึ่งอัดไอ อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที

7. เอ็มอาร์-วีพีบรอก (MR-VP broth) ประกอบด้วย

peptone	5.0	กรัม
glucose	5.0	กรัม
dipotassium hydrogen phosphate	5.0	กรัม

เตรียมโดยการละลายทริปโตน 10 กรัมในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร เทใส่ในหลอดแก้วขนาด 13 × 100 มิลลิลิตร หลอดละ 3 มิลลิลิตร นำไปฆ่าเชื้อในเครื่องนึ่งอัดไอ อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที

8. ซิมมอนส์ซิเตรต อะการ์ (Simmon's citrate agar) ประกอบด้วย

sodium chloride	5.0	กรัม
magnesium sulphated heptahydrate	0.2	กรัม
ammonium dihydrogen phosphate	1.0	กรัม
sodium citrate	5.0	กรัม
bromthymol blue	0.08	กรัม
agar	15.0	กรัม

เตรียมโดยการละลายทริปโตน 10 กรัมในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร เทใส่ในหลอดแก้วขนาด 13 × 100 มิลลิลิตร หลอดละ 3 มิลลิลิตร นำไปฆ่าเชื้อในเครื่องนึ่งอัดไอ อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที

ตารางภาคผนวกที่ จ-1 ตารางแปรผลปริมาณแบคทีเรียโคลิฟอร์มวัดโดยวิธีเอ็มพีเอ็นโดยการเจือจาง 5 หลอด เมื่อเพาะตัวอย่าง 0.1, 0.01 และ 0.001 กรัม ในอาหารเลี้ยงเชื้อ

Combination Of Positive	MPN Index			Combination Of Positive	MPN Index		
	MPN/g	Lower	Upper		MPN/g	Lower	Upper
0-0-0	< 2	-	6.8	4-0-3	25	9.8	70
0-0-1	1.8	0.09	6.8	4-1-0	17	6.0	40
0-1-0	1.8	0.09	6.9	4-1-1	21	6.8	42
0-1-1	3.6	0.7	10	4-1-2	26	9.8	70
0-2-0	3.7	0.7	10	4-1-3	31	10	70
0-2-1	5.5	1.8	15	4-2-0	22	6.8	50
0-3-0	5.6	1.8	15	4-2-1	26	9.8	70
1-0-0	2.0	0.1	10	4-2-2	32	10	70
1-0-1	4.0	0.7	10	4-2-3	38	14	100
1-0-2	6.0	1.8	15	4-3-0	27	9.9	70
1-1-0	4.0	0.7	12	4-3-1	33	10	70
1-1-1	6.1	1.8	15	4-3-2	39	14	100
1-1-2	8.1	3.4	22	4-4-0	34	14	100
1-2-0	6.1	1.8	15	4-4-1	40	14	100
1-2-1	8.2	3.4	22	4-4-2	47	15	120
1-3-0	8.3	3.4	22	4-5-0	41	14	100
1-3-1	10	3.5	22	4-5-1	48	15	120
1-4-0	11	3.5	22	5-0-0	23	6.8	70
2-0-0	4.5	0.79	15	5-0-1	31	10	70
2-0-1	6.8	1.8	15	5-0-2	43	14	100
2-0-2	9.1	3.4	22	5-0-3	58	22	150
2-1-0	6.8	1.8	17	5-1-0	33	10	100
2-1-1	9.2	3.4	22	5-1-1	46	14	120
2-1-2	12	4.1	26	5-1-2	63	22	150
2-2-0	9.3	3.4	22	5-1-3	84	34	220
2-2-1	12	4.1	26	5-2-0	49	15	150
2-2-2	14	5.9	36	5-2-1	70	22	170
2-3-0	12	4.1	26	5-2-2	94	34	230
2-3-1	14	5.9	36	5-2-3	120	36	250
2-4-0	15	5.9	36	5-2-4	150	58	400
3-0-0	7.8	2.1	22	5-3-0	79	22	220
3-0-1	11	3.5	23	5-3-1	110	34	250
3-0-2	13	5.6	35	5-3-2	140	52	400
3-1-0	11	3.5	26	5-3-3	180	70	400
3-1-1	14	5.6	36	5-3-4	210	70	400
3-1-2	17	6.0	36	5-4-0	130	36	400
3-2-0	14	5.7	36	5-4-1	170	58	400
3-2-1	17	6.8	40	5-4-2	220	70	440
3-2-2	20	6.8	40	5-4-3	280	100	710
3-3-0	17	6.8	40	5-4-4	350	100	710
3-3-1	21	6.8	40	5-4-5	430	150	1100
3-3-2	24	9.8	70	5-5-0	240	70	710
3-4-0	21	6.8	40	5-5-1	350	100	1100
3-4-1	24	9.8	70	5-5-2	540	150	1700
3-5-0	25	9.8	70	5-5-3	920	220	2600
4-0-0	13	4.1	35	5-5-4	1600	400	4600
4-0-1	17	5.9	36	5-5-5	>1600	700	-

ภาคผนวก จ

การวิเคราะห์กรดทาร์ทาริกในผลิตภัณฑ์มะขาม ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง (High performance liquid chromatography: HPLC)

การวิเคราะห์หาปริมาณกรดทาร์ทาริกในตัวอย่างผลิตภัณฑ์มะขาม ใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง (HPLC) โดยนำค่าสัดส่วนพื้นที่ใต้ยอดแหลมของกราฟจาก HPLC chromatogram ของกรดทาร์ทาริกในตัวอย่างกับสารมาตรฐานภายใน (internal standard) มาคำนวณหาความเข้มข้นของกรดทาร์ทาริกที่มีอยู่ในตัวอย่าง โดยเทียบกับเส้นกราฟมาตรฐาน

การเตรียมสารละลายกรดทาร์ทาริกมาตรฐานและสารมาตรฐานภายใน

เตรียมสารละลายมาตรฐาน stock solution โดยละลายกรดทาร์ทาริกมาตรฐาน (tartaric acid; TA) และสารมาตรฐานภายในคือกรดแกลลิก (gallic acid; GA) ด้วยน้ำ Ultra Pure เตรียมสารละลายตั้งต้นของกรดทาร์ทาริก 40 กรัม/ลิตร เตรียมสารมาตรฐานภายในกรดแกลลิก ให้มีความเข้มข้น 0.8 กรัม/ลิตร จากนั้นเปิดสารละลายตั้งต้นของกรดทาร์ทาริกปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตร 10 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยเฟสเคลื่อนที่จนมีปริมาตรเท่ากับ 10 มิลลิลิตร สำหรับใช้เป็นสารละลาย standard solution เพื่อการวิเคราะห์สารตัวอย่างต่อไป

การยืนยันความถูกต้องสมบูรณ์ของวิธีวิเคราะห์ (Analytical Method Validation)

ตามข้อกำหนดของ USP 27 การตรวจสอบปริมาณสารสำคัญในผลิตภัณฑ์ ต้องมีการยืนยันความถูกต้องสมบูรณ์ของวิธีวิเคราะห์ ได้แก่ ความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ (Accuracy) ความเที่ยงตรงของวิธีวิเคราะห์ (Precision) ความจำเพาะเจาะจง (Specificity) ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (Linearity) ช่วงความเข้มข้นที่ใช้ในการวิเคราะห์ (Range)

ความถูกต้องและความเที่ยงตรงของวิธีวิเคราะห์ (Accuracy and Precision)

ความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์แสดงด้วยค่าเปอร์เซ็นต์คืนกลับ (% recovery) ส่วนความเที่ยงตรงของวิธีวิเคราะห์ประกอบด้วยความเที่ยงตรงเมื่อวิเคราะห์ภายใน วันเดียวกัน (Intra-day precision) และความเที่ยงตรง เมื่อวิเคราะห์ที่ต่างวันกัน (Inter-day precision) ซึ่ง

แสดงผลในรูปของเปอร์เซ็นต์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (% relative standard deviation, %RSD)

1. ความถูกต้องและเที่ยงตรงเมื่อวิเคราะห์ภายในวันเดียวกัน (Intra-day accuracy and precision)

ความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์แสดงด้วยค่าเปอร์เซ็นต์คืนกลับ (%recovery) โดยใช้สูตร

$$\% \text{ recovery} = (C2 \times 100)/C1$$

เมื่อ C2 คือ ความเข้มข้นของกรดทาร์ทาริกที่วิเคราะห์ได้

C1 คือ ความเข้มข้นของกรดทาร์ทาริกที่มีอยู่จริง

ขั้นตอนการเตรียมสารมีดังนี้

1. เตรียมสารละลายน้ำสกัดมะขามที่มีสารมาตรฐานภายในเข้มข้น 0.04 กรัม/ลิตร โดยเจือจางน้ำสกัดมะขามเข้มข้นของมะขามตัวอย่างในอัตราส่วนที่เหมาะสมด้วยเฟสเคลื่อนที่
2. เตรียมสารละลายเข้มข้นของกรดทาร์ทาริก ดังตารางที่ ๑-2 นำมาเตรียมสารละลายผสมกรดทาร์ทาริกมาตรฐาน 3 ความเข้มข้น
3. เติม (spiked) สารละลายน้ำสกัดตัวอย่างมะขามผสมจากข้อ 1 ด้วยสารละลายเข้มข้นของกรดทาร์ทาริกมาตรฐานจากข้อ 2 โดยเจือจางน้ำมะขามสกัดเข้มข้นของมะขามตัวอย่างและ spiked ด้วยสารละลายผสมของกรดทาร์ทาริก
4. กรองสารละลายที่เตรียมได้จากข้อ 1 2 และ 3 ผ่าน nylon syringe filter ที่มีรูพรุนขนาด 0.45 ไมโครเมตร และนำไปฉีดเข้าคอลัมน์ HPLC ปริมาตร 15 ไมโครลิตร ภายใต้ภาวะที่เหมาะสม โดยทำการฉีดซ้ำ 3 ครั้ง นำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ไปคำนวณหาความเข้มข้นของกรดอินทรีย์จากตัวอย่างโดยวิเคราะห์ ดังนี้

- ความเข้มข้นของกรดทาร์ทาริกในสารละลายน้ำสกัดมะขาม (C1)

- ความเข้มข้นของกรดทาร์ทาริกในสารละลายน้ำสกัดตัวอย่างมะขามที่ spiked ด้วยสารละลายผสมของกรดทาร์ทาริกมาตรฐาน (C2)

นำค่าความเข้มข้นของกรดทาร์ทาริกในสารละลายที่วิเคราะห์ได้ (C1, C2)

ไปคำนวณหาค่า % recovery ดังสูตร

$$\% \text{ recovery} = C2/C1 \times 100$$

ถ้าค่า recovery ที่คำนวณได้มีค่าอยู่ในช่วง 75-120% แสดงว่าวิธีวิเคราะห์ที่ยอมรับได้ (AOAC, 2002)

ตารางที่ จ-1 ความเข้มข้นของกรดทาร์ทริกมาตรฐานและ กรดแกลลิกในการเตรียมสารละลายผสมกรดทาร์ทริกมาตรฐาน 3 ความเข้มข้น

สารละลายผสม ของกรดทาร์ทริก	ความเข้มข้น ของกรดทาร์ทริก (g/L)	ความเข้มข้น ของกรดแกลลิก (g/L)
ความเข้มข้นที่ 1	0.80	0.04
ความเข้มข้นที่ 2	2.60	0.04
ความเข้มข้นที่ 3	4.40	0.04

ผลการทดลองพบว่าความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์แสดงด้วย % recovery ในตารางที่ จ-2 จากการวิเคราะห์ความเข้มข้นของกรดทาร์ทริก ที่เติมด้วย (spiked) สารละลายผสมกรดทาร์ทริกมาตรฐาน จำนวน 3 ความเข้มข้น ซึ่งค่า % recovery อยู่ในช่วง 75-120% ตามเกณฑ์ที่กำหนด (AOAC, 2002) และมีค่าความเที่ยงตรง (% RSD) อยู่ที่ 0.48-1.59%

ตารางที่ จ-2 ความถูกต้องและเที่ยงตรงของวิธีวิเคราะห์ภายในวันเดียวกันในการวิเคราะห์กรดทาร์ทริก แสดงผลในรูปแบบ %recovery และ %RSD ของ intraday

Organic acids	Background Concentration (g/L)	Concentration Added (g/L)	Concentration Analyzed (g/L)	Recovery (%)	Intra-day precision RSD (%)
Tartaric acid (TA)	1.07	0.80	1.875 (0.013)	101.83	1.59
		2.60	3.695 (0.013)	99.90	0.48
		4.40	5.532 (0.029)	99.69	0.65

*ค่าในวงเล็บแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. ความเที่ยงตรงเมื่อวิเคราะห์ต่างวันกัน (Inter-day precision)

เตรียมสารละลายผสมของกรดทาร์ทาริกมาตรฐานจำนวน 5 ความเข้มข้น โดยเตรียมที่ความเข้มข้น 1.00 - 5.80 กรัม/ลิตร ของกรดทาร์ทาริก และ 0.04 กรัม/ลิตร ของกรดแกลลิก โดยเตรียมความเข้มข้นละ 3 ตัวอย่าง (n=3) กรองสารละลายผ่าน nylon syringe filter ที่มีรูพรุนขนาด 0.45 ไมโครเมตร และนำไปฉีดเข้าคอลัมน์ HPLC ปริมาตร 15 ไมโครลิตร ภายใต้ภาวะที่เหมาะสมในแต่ละวัน เป็นเวลา 3 วัน โดยทำการฉีดซ้ำ 3 ครั้ง นำค่าที่วิเคราะห์ได้ไปคำนวณหาความเข้มข้นของกรดทาร์ทาริกเทียบกับเส้นกราฟ

ผลการทดลองพบว่าการวิเคราะห์สารละลายผสมของกรดอินทรีย์ของกรดอินทรีย์มาตรฐานจำนวน 5 ความเข้มข้น เป็นเวลา 3 วัน ได้ค่า % RSD อยู่ที่ 0.86-1.07 % แสดงในตารางที่ ๓-3

ตารางที่ ๓-3 ความเที่ยงตรงเมื่อวิเคราะห์ต่างวันกันของสารละลายผสมของกรดอินทรีย์มาตรฐาน (inter-day precision) แสดงผลในรูป %RSD (n=3)

Organic acids	Concentration Added (g/L)	Concentration Analyzed (g/L)	Inter day precision RSD (%)
TA	1.00	0.994 (0.012)	1.07
	2.20	2.219 (0.021)	0.92
	3.40	3.453 (0.029)	0.86
	4.60	4.665 (0.040)	0.87
	5.80	5.826 (0.055)	0.94

ดังนั้นวิธีวิเคราะห์กรดอินทรีย์ด้วยเทคนิค HPLC จากการใช้ภาวะต่างๆ ที่เหมาะสมที่กำหนดในตารางที่ 3 มีความถูกต้อง สามารถนำไปใช้วิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ในตัวอย่างมะขามต่อไปได้

ความจำเพาะเจาะจงของวิธีวิเคราะห์ (Specificity)

จากการวิเคราะห์สารละลายผสมของกรดทาร์ทาริกมาตรฐานและสารมาตรฐานภายในด้วยเทคนิค HPLC สามารถคำนวณค่า resolution ได้ 2.06 และมีค่า retention time 3.616 นาที วิธีวิเคราะห์จะมีความจำเพาะเจาะจงต่อสารที่ต้องการแยกเมื่อค่า resolution มีค่ามากกว่า 1.5 และค่า resolution ยิ่งมีค่ามากแสดงว่าการแยกระหว่างพีค 2 พีค ยิ่งดีขึ้นเท่านั้น จากผลการทดลองแสดงว่าเทคนิค HPLC ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มีความจำเพาะเจาะจงต่อสารมาตรฐานภายในและกรดทาร์ทาริกที่วิเคราะห์ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์มะขาม

ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงและช่วงความเข้มข้นที่ใช้วิเคราะห์ (Linearity and Range)

ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างอัตราส่วนพื้นที่ใต้ยอดแหลมของกราฟระหว่างกรดทาร์ทาริกมาตรฐานต่อสารมาตรฐานภายใน (Peak area ratio) และความเข้มข้นของกรดทาร์ทาริก

เตรียมสารละลายผสมของกรดทาร์ทาริกตามตารางที่ ๑-4 กรองสารละลายผ่าน nylon syringe filter ที่มีรูพรุนขนาด 0.45 ไมโครเมตร และนำไปฉีดเข้าคอลัมน์ HPLC ปริมาตร 15 ไมโครลิตร ภายใต้ภาวะที่เหมาะสม โดยทำการฉีดซ้ำ 3 ครั้งของแต่ละความเข้มข้น นำค่าเฉลี่ยมาสร้างเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนพื้นที่ใต้ยอดแหลมของกราฟ (Peak area ratio) และความเข้มข้นของกรดทาร์ทาริกมาตรฐาน ใช้ linear regression ในการสร้างสมการเส้นตรง

ตารางที่ จ-4 ความเข้มข้นของกรดทาร์ทริกมาตรฐานและ กรดแกลลิกในการเตรียมสารละลาย ผสมกรดทาร์ทริกมาตรฐาน 5 ความเข้มข้น

สารละลายผสม ของกรดทาร์ทริก	ความเข้มข้น ของกรดทาร์ทริก (g/L)	ความเข้มข้น ของกรดแกลลิก (g/L)
ความเข้มข้นที่ 1	0.50	0.04
ความเข้มข้นที่ 2	2.00	0.04
ความเข้มข้นที่ 3	3.50	0.04
ความเข้มข้นที่ 4	5.00	0.04
ความเข้มข้นที่ 5	6.50	0.04

ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างอัตราส่วนพื้นที่ใต้ยอดแหลมของกราฟของกรดทาร์ทริกมาตรฐานต่อกรดแกลลิก (Peak Area Ratio) และความเข้มข้นของกรดทาร์ทริกมาตรฐาน แสดงดังสมการเส้นตรง

$$y = ax + b$$

เมื่อ	y	คือ	อัตราส่วนของกรดทาร์ทริกมาตรฐานต่อกรดแกลลิก
	x	คือ	ความเข้มข้นของกรดทาร์ทริกมาตรฐาน (กรัม/ลิตร)
	a	คือ	ความชันของเส้นกราฟ
	b	คือ	ค่าจุดตัดแกน y ของเส้นกราฟ

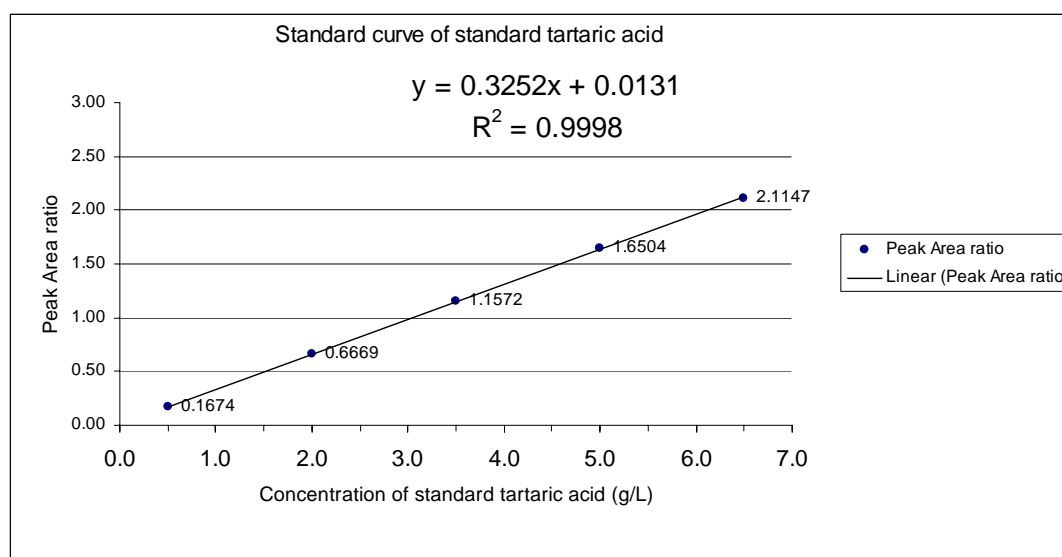
ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่าง Peak Area Ratio และความเข้มข้นของกรดแกลลิกมาตรฐานแสดงดังตารางที่ จ-5 และรูปที่ 4 โดยพบว่าค่า coefficients of determination (R^2) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความเป็นเส้นตรงของเส้นกราฟของกรดทาร์ทริกที่ทำการวิเคราะห์มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9998

ตารางที่ จ-5 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างอัตราส่วนพื้นที่ใต้ยอดแหลมของกราฟของกรดทาร์ทริกมาตรฐานกับกรดแกลลิกต่อความเข้มข้นของกรดทาร์ทริกมาตรฐาน

Acid	Linear range (g/L)	Regression equation	R ²
Tartaric acid	0.5000 -6.5000	$y = 0.3252x + 0.0131$	0.9998

Y = อัตราส่วนพื้นที่ใต้ยอดแหลมของกราฟของกรดทาร์ทริกมาตรฐานกับกรดแกลลิก
(peak area ratio)

X = ความเข้มข้นของกรดทาร์ทริกมาตรฐาน(กรัม/ลิตร)



รูปที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างอัตราส่วนพื้นที่ใต้ยอดแหลมของกราฟของกรดทาร์ทริกมาตรฐานกับกรดแกลลิกต่อความเข้มข้นของกรดทาร์ทริกมาตรฐาน การวิเคราะห์ปริมาณของกรดทาร์ทริกในตัวอย่างผลิตภัณฑ์มะขาม

นำผลิตภัณฑ์มะขาม มาเจือจางด้วยเฟสเคลื่อนที่ในอัตราส่วนที่เหมาะสม และเติมสารมาตรฐานภายในในปริมาณความเข้มข้น 0.04 กรัม/ลิตร กรองสารละลายผ่าน nylon syringe filter ขนาด 0.45 ไมโครเมตร และนำไปฉีดเข้าคอลัมน์ HPLC ปริมาตร 15 ไมโครลิตร ทำการทดลอง 3 ซ้ำ จากนั้นนำค่าสัดส่วนพื้นที่ใต้ยอดแหลมของกราฟ (Peak area ratio) ของกรดทาร์ทริกมาตรฐานกับสารมาตรฐานภายในที่วิเคราะห์ได้ไปคำนวณหาความเข้มข้นของกรดทาร์ทริกที่มีอยู่ในน้ำมะขามเข้มข้นโดยเทียบกับเส้นกราฟมาตรฐาน และรายงานค่าที่วิเคราะห์ได้แสดงเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวพจนา แก้วทินกร เกิดวันที่ 13 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2522 ที่จังหวัดนครปฐม สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ ภาควิชาสารสนเทศ จากคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2544 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรเกษตรศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอาหารเคมีและโภชนศาสตร์ทางการแพทย์ คณะเกษตรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อพ.ศ. 2549